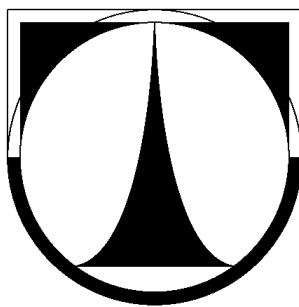


TECHNICKÁ UNIVERZITA

V LIBERCI

Fakulta strojní



Diplomová práce

Inovace technologického zařízení na
výrobu papírové lepenky

2008

Vladimír Skramuský



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Studijní rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Vladimír SKRAMUSKÝ**

obor **Inovační Inženýrství**

zaměření **Inovace výrobků**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Inovace technologického zařízení na výrobu papírové lepenky

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií výroby papírové lepenky a tento stav popište.
2. Popište dosavadní stav technologického zařízení na výrobu papírové lepenky.
3. Navrhněte dílčí inovace na zařízení na výrobu papírové lepenky.
4. Provedte konstrukci inovovaných částí a pevnostní kontrolu namáhaných dílů.
5. Popište přínos těchto inovací na zlepšení kvality papírové lepenky, zefektivnění procesu výroby a zlepšení podmínek bezpečnosti práce na tomto stroji.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: N2301 - Strojní inženýrství

Obor: Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výrobku

Katedra částí a mechanismů strojů

Inovace technologického zařízení na výrobu papírové lepenky

Innovation of technological machinery which produces paper paste-board

Jméno autora: Vladimír Skramuský

Vedoucí DP: doc.Ing. Ladislav Ševčík, CSc. TU Liberec

Konzultant DP: Ing. Miroslav Hašl, Papírny Bělá a.s.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 60

Počet obrázků: 40

Počet příloh: 3

Datum: 23. května 2008

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé DP a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci 23. května 2008

.....

Vladimír skramuský

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci 23. května 2008

.....

Vladimír Skramuský

ANOTACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

TÉMA:

Inovace technologického zařízení na výrobu papírové lepenky

ANOTACE:

Tato diplomová práce se zabývá inovací technologického zařízení na výrobu papírové lepenky a konstrukčními úpravami na tomto zařízení pro zlepšení kvality papírové lepenky, zefektivnění procesu výroby a zlepšení podmínek bezpečnosti práce na tomto stroji. Inovace jsou provedeny na základě naměřených veličin na daném zařízení a výpočty pomocí klasických výpočetních metod a metodou konečných prvků.

DIPLOMA PROJECT

THEME:

Innovation of technological machinery which produces paper paste-board

ANNOTATION:

The thesis deals with innovation of the technological machinery which produces paper paste-board and construction modifications on this machinery in order to innovation qualities paper paste-board, more effectively production process and innovation of working safety conditions on this machine. Innovations are performed on the basis of both measured values of the here-named machine and calculation methods. Conventional computation methods and finite element method analysis were applied.

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. z katedry částí a mechanismů strojů TU v Liberci za poskytnutý čas a připomínky, svému konzultantovi Ing. Miroslavu Hašlovi z Papíren Bělá a.s. za poskytnuté firemní informace k dané problematice, Ing. Janu Urbáškoví, CSc. a Ing. Tomáši Vítovi, PhD. za odbornou pomoc s výpočty.

Děkuji firmě Papírny Bělá a.s. za možnost vypracování diplomové práce a za poskytnuté zázemí při řešení daného problému.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům za jejich soustavnou podporu při studiu na Technické Univerzitě v Liberci.



Obsah:

POUŽITÉ OZNAČENÍ	9
1 CÍL PRÁCE	11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY SKLÁDAČKOVÉ A NATÍRANÉ LEPENKY	11
2.1 Popis papírové lepenky	11
2.2 Současný stav inovovaného technologického zařízení	12
2.2.1 Sítová část stroje.....	12
2.2.2 Lisová část.....	13
2.2.3 Sušicí část.....	13
2.2.4 Kalandr	14
2.2.5 Měřicí rám	14
2.2.6 Navíječ	15
2.3 Balení lepenky	15
2.4 Kontrola kvality lepenky	15
2.5 Podnikové technické normy (PTN) na výrobky	16
2.6 Legislativní předpisy.....	16
2.7 Ekologie	17
3 PLÁNOVÁNÍ INOVACE TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ	17
3.1 Inovační záměr	18
3.2 Identifikace zákaznických potřeb.....	19
4 PRŮZKUM JIŽ ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ	21
4.1 Parní skříň č. 1	21
4.2 Parní skříň č. 2	22
4.3 Parní skříň č. 3	23
5 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRHY	24
5.1 Návrh parní skříně č. 1	24
5.1.1 Výpočty proudění na 1. stupni ventilu.....	32
5.1.2 Výpočty proudění na 2. stupni ventilu.....	35
5.1.3 Výpočty přenosu tepla.....	42
5.1.4 Výpočet namáhání	48
5.1.5 Popis inovačního řešení z hlediska DFX	50
5.2 Návrh parní skříně č.2.....	52



5.3	Návrh parní skříně č. 3	55
6	ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ	57
	ZÁVĚR	58
	POUŽITÁ LITERATURA	60

Použité označení

Označení	Jednotky	Název veličiny
p_1	Pa	tlak vodní páry v přívodním potrubí
p_2	Pa	tlak vodní páry v přívodním potrubí
p_0	Pa	normální barometrický tlak
t_p	°C	teplota přehřáté páry
D_1	m	průměr kruhového otvoru (1. stupeň ventilu)
D_0	m	průměr na vyústění potrubí
i	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	měrná entalpie páry
v_K	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	měrný objem
α	-	součinitel kontrakce
φ	-	rychlostní součinitel
v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	střední rychlost proudění
l	m	délka potrubí
d	m	průměr potrubí
ζ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	hustota protékající tekutiny
D_2	m	průměr kruhového otvoru (2. stupeň ventilu)
S_2	m^2	plocha přivřeného otvoru na 2. stupni ventilu
S_O	m^2	plocha kruhového otvoru
S_U	m^2	plocha kruhové úseče
a	m^2	délka tětiny
r	m	poloměr kruhového otvoru
h	m	výška kruhové úseče
l	m	délka oblouku kruhové úseče
α	°	Středový úhel příslušný kruhové úseči
\dot{m}	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	hmotnostní průtok páry
H_p	J	celková entalpie páry
c_{H_2O}	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita vody
$c_{P \text{ lep}}$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	izobarická měrná tepelná kapacita papírové lepenky
$c_{P \text{ nos}}$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	izobarická měrná tepelná kapacita nosiče lepenk.pásu



v_N	$m \cdot s^{-1}$	rychlost nosiče lepenkového pásu
v_L	$m \cdot s^{-1}$	rychlost lepenkového pásu
l_L	m	celková šířka lepenkového pásu
l_N	m	celková šířka nosiče lepenkového pásu
h_L	m	tloušťka lepenkového pásu
h_N	m	tloušťka nosiče lepenkového pásu
ς_L	$kg \cdot m^{-3}$	hustota papírové lepenky
ς_N	$kg \cdot m^{-3}$	hustota nosiče lepenkového pásu
m_L	kg	hmotnost papírové lepenky
t_{L1}	$^{\circ}C$	teplota papírové lepenky před vstupem do parní skříně
t_{N1}	$^{\circ}C$	teplota nosiče papír.lepenky před vstupem do parní skříně
C_L	$J \cdot K^{-1}$	tepelná kapacita papírové lepenky
C_N	$J \cdot K^{-1}$	tepelná kapacita nosiče papírové lepenky
H_L	J	entalpie papírové lepenky
H_N	J	entalpie nosiče papírové lepenky

1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je inovace technologického zařízení na výrobu papírové lepenky, popsání současného stavu zařízení a na základě poznatků vytvořit návrh inovačního řešení vedoucího ke zvýšení produkce, úspor energie a kvality výroby papírové lepenky na tomto zařízení.

Úkolem je provést průzkum trhu parních skříní, navrhnout vlastní koncepční řešení tohoto zařízení, které bude umístěno v papírenském stroji a zde bude zrovnoměňovat příčný vlhkostní profil papírové lepenky a bude ohřívat vodu obsaženou v papírovém archu.

Závěrem budou zhodnoceny jednotlivé varianty parních skříní a navržena ta nejvhodnější, která bude dále podpořena výpočty namáhání. Po celou dobu tvorby konceptů výrobku bude vycházeno z moderních metod inovačního inženýrství.

2 Technologie výroby skládačkové a natírané lepenky

2.1 Popis papírové lepenky

Pojmem „lepenka“ rozumíme vícevrstvý materiál, který je složen z primárních nebo sekundárních vláken. Tento druh lepenek je především používán jako obalový materiál, který může být s potiskem nebo bez potisku. Tyto hladké lepenky mají tloušťku do 0,5 mm a plošnou hmotnost od 230 -550 g/m². Podle složení jednotlivých vrstev lepenky se provádí označování, které znamená její určitý druh. Podíl recyklovaného vlákna se pohybuje od 60-100%.

Materiály na výrobu:

Celulóza – jedná se o primární vlákno, které se získává ze dřevní hmoty chemicko-tepelným způsobem. Podle zabarvení je buď nebělená, která si zachovává přírodní barvu dřeva nebo bělená, kdy po bělicím procesu je barvy bílé. Podle druhu použité vlákniny je buď sulfátová, což je druh s dlouhým vláknem, vyznačující se vysokou pevností nebo sulfitová, která má středně dlouhé vlákno a nižší pevnost.

Dřevovina – opět se jedná o primární vlákno, které se získává z dřevní hmoty mechanickým broušením (obrusem) dřeva. Lepence dodává větší objemovou hmotnost (tzv. volumen), lepenka je rovinná, lépe se suší při výrobním procesu a má větší sklony k prášení při jejím zpracování (tj. řezání).

Sběrový papír – je to recyklované vlákno, které již bylo v technologickém procesu využito. Jednotlivé druhy sběrového papíru jsou uvedeny v technické normě a jsou přesně specifikovány. Použití jednotlivých druhů sběrového papíru záleží dle druhu vyráběné lepenky. U sběrového papíru rozlišujeme bílý sběr jako lepší třídu sběrového papíru a tyto druhy používáme pro vrchní vrstvy jako náhradu za celulózu. Horší kvalitativní třídy sběrového papíru používáme do středních vrstev, tyto třídy jsou nejlevnější. Počet cyklů pro recyklaci sběrového papíru může být 4 až 5 cyklů, potom už je vlákno natolik krátké, že ho síta nezachycují a odchází v odpadních vodách. [3]

2.2 Současný stav inovovaného technologického zařízení

Lepenkový stroj pracuje v nepřetržitém provozu a je mimo poruch a havárií odstavován pravidelně 1x za 2 týdny na běžnou opravu po dobu 10-12 hodin, kdy se provádí nutné technologické a strojní opravy a čištění. Jednou za rok se provádí střední oprava stroje po dobu 7. dní. (schéma technologického zařízení na výrobu papírové lepenky v příloze)

2.2.1 Sítová část stroje

Začíná tvorbou lepenkového listu v síťové části. V našem případě se vytváří lepenkový list na pěti kruhových sítích. A to tak, že pevný kruhový válec je potažen nerezovým sítím s jemným děrováním a v nátokovém segmentu nabírá vodolátku. Vlákno se na sítu zadrží a voda projde sítím. Zachycená a různě uspořádaná vlákna se z povrchu síta nalepí na transportní plstěnek, který postupně snímá látku ze všech pěti sítí a nese tedy pětivrstvý lepenkový list. Po pátém sítu má lepenkový pás podíl sušiny pouze 16,5%, je tedy málo pevný a proto je nesen na plstěnci.

2.2.2 Lisová část

Lepenkový pás vstupuje do lisové části a nejprve prochází sacím lisem. Lepenka je nesena na zvlhčovacím plstěnci a prochází mezi válci. Spodní válec je děrovaný a pomocí odsávací lišty, která je napojena na vývěvu dochází k nepřetržitému odvádění vody z lepenky. Tento způsob odjímání vody z lepenkového pásu je velmi šetrný a nepoškozuje utvořenou strukturu jednotlivých vrstev.

U následujících tří zbývajících lisů je přebytečná voda z lepenkového listu odváděna odvlhčovacími plstěnci, které jsou poté vysušované teplým vzduchem. Hodnota podílu sušiny papírové lepenky se v lisové části pohybuje okolo 45%. Velmi důležité pro správnou funkci lisové části je postupné navyšování lineárního tlaku od sacího lisu až po poslední lis.

2.2.3 Sušicí část

Sušicí část se skládá z části předsoušecí, hladícího válce a z části dosoušecí. Předsoušecí část tvoří 21 ks. sušících válců. Z hlediska sušícího procesu se jedná o 4 sušicí skupiny. Každá skupina má vlastní vyhřívání parou ovládané z panelu. Sušení je ruční nebo automatické s pomocí ventilů, které reagují automaticky na změny teploty sušících válců. První dvě předsoušecí skupiny jsou opatřeny vysoušecím krytem, další dvě skupiny mají vysokovýkonný kryt. Ten je opatřen ventilátory a tělesy, kde je použita pára 1,2 MPa. Skrz tělesa je foukán vzduch pomocí dvou ventilátorů, ohřeje se průchodem přes tělesa a ohřátý vzduch je veden na dráhu lepenky, čímž se zvyšuje účinnost sušení.

Při procesu sušení je nutné dodržovat určité zásady:

- teplota sušících válců v 1. sušicí skupině předsoušení by neměla překročit 60°C
- optimální podíl sušiny při vstupu na hladící válec by měla být 65 - 67%
- během předsoušení by u žádné části neměla teplota překročit 110°C
- pro dobrou hladkost a lesk z hladícího válce by horní předsoušecí válce neměly dosahovat teploty spodních válců

Hladicí stolice slouží k úpravě povrchu lepenky, k vyhlazení a lesku. Skládá se z hladicího plstěnce, gumového přitlačného válce a vysoce leštěného hladicího válce. V horní části hladicího válce je vysokovýkonný kryt s vyhřívacími tělesy a odtahovými ventilátory. Pro dobrou funkci hladicího válce je optimální podíl sušiny před vstupem do lisu hladicího válce 65% a ohřev hladicího válce na 104°C.

Dosoušecí část je tvořena 18. válci za hladicím válcem. Zde dojde k usušení lepenky na konečnou hodnotu podílu sušiny v rozmezí 92 - 94%. Ovládání této části lze zvolit buď ručně, nebo automaticky v závislosti na vazbu z PC na vlhkostní profil.

Chladicí část se nachází na konci sušící partie, tvoří ji 2 chladicí válce s přívodem chladicí kapaliny, v tomto případě vody.

2.2.4 Kalandr

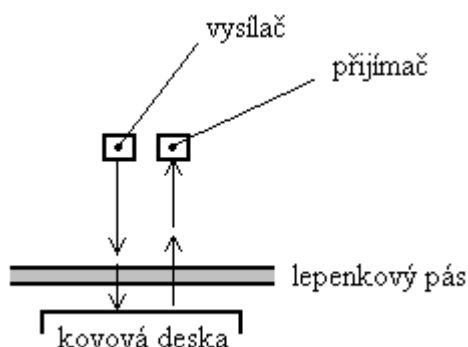
Jedná se o dvouválcový kalandr, který slouží spíše jen pro srovnání tloušťky lepenky, přičemž se dbá na to, aby nedošlo ke snížení fyzikálně mechanických vlastností lepenky.

2.2.5 Měřicí rám

Mezi kalandrem a navíječem je instalován měřicí rám ELITE 3000 (Obr.2.1.), který provádí nepřetržité měření plošné hmotnosti a vlhkosti papírové lepenky. Strojvedoucí může sledovat hodnoty na monitoru ve velíně. Jsou to informativní údaje pro řízení procesu.

Plošná hmotnost se měří na principu záření α (krypton 85), měří se množství záření, které projde vrstvou lepenky, která část záření pohlcuje. Prošlé záření měří Gayger-Mullerova funkce, signál je poté izolován a vyhodnocován. Ze zdravotního hlediska splňuje množství záření a jeho poločas rozpadu všechny hygienické normy.

Tímto měřicím rámem se také měří vlhkost papírového archu. Toto měření vlhkosti probíhá pomocí vlnění, které je vyvoláno ve dvou kmitočtech, 1.5 – 1.8 GHz a 2.5 – 3.0 GHz proti kovové desce. Vlhkost (voda), která je v lepenkovém pásu pohlcuje část vlnění a tento rozdíl ve velikosti vlnění je zachycen v přijímači a dále vyhodnocen.



Obr.2.1.: princip měřicího rámu ELITE 3000

2.2.6 Navíječ

Zajišťuje navíjení lepenky na buben o váze cca 2500 kg. Každý buben je číslován a buď je lepenka určena pro natírací stroj, který provede nátěr lepenky na vrchní hladké straně nebo se jedná o finální produkt z nenatírané lepenky a následuje ořezání na kotouče nebo archy. [1]

2.3 Balení lepenky

Pokud se jedná o balení kotoučů, tak tyto jsou baleny do průtažné fólie na ovíjecím stroji, pod fólii se vsune identifikační štítek. Kotouče se většinou balí jednotlivě. Při balení archů se paleta s lepenkou nejprve zváží, vloží se identifikační štítek a natáhne se přes ni smršťovací plastový pytel. Poté paleta vjede do ohřívací jednotky, ve které se fólie nahřeje na teplotu 160-170°C. Po vyjmutí z ohřívacího boxu během 10-15. minut dojde ke smršťení fólie a lepenka je pevně zafixována k paletě. Tento způsob balení proti předchozímu, kdy byla lepenka fixována pomocí horního rámečku a kovové pásky, uspoří 50-60 Kč u jedné paletové jednotky. Za jeden den se takto balí cca 100 paletových jednotek. Dále při tomto balení si lepenka uchová stálou vlhkost a navíc je chráněna proti znečištění.

2.4 Kontrola kvality lepenky

Ve firmě je zaveden systém řízení jakosti dle ISO 9001:2000. Kontrola je prováděna buď nezávislou kontrolou, v tom případě se jedná o útvar technické

kontroly nebo je prováděna přímo obsluhou technologického zařízení. V obou případech jsou pro to stanoveny přesné postupy, které mají pracovníci k dispozici.

Kontrola začíná u vstupních surovin do procesu a provádí ji vstupní technická kontrola. Během výrobního procesu je prováděna nepřetržitě mezioperační kontrola a to na každém kotouči jak u lepenkového stroje, tak i po natírání. Provádí ji laborantka TK a zkušební parametry jsou uvedeny na výrobním příkazu pro danou zakázku. Výsledky měření jsou v průběhu výroby okamžitě k dispozici a jsou archivovány pro případné reklamační řízení.

Obsluha zařízení, která provádí samokontrolu, má stanovené kontrolní místa v procesu a postupy, podle kterých kontrolu provádí. O celé zakázce je provedena výstupní kontrola a v případě, že odběratel požaduje k zakázce osvědčení o jakosti tak toto vystaví útvar technické kontroly. Způsoby uvolňování a pozastavování neshodné výroby jsou popsány v dokumentech SŘJ (systém řízení jakosti).

2.5 Podnikové technické normy (PTN) na výrobky

Pro každý sortiment výrobků je zpracována PTN s pořadovým číslem. Ta udává veškeré důležité informace o výrobku, např. o jeho surovinovém složení, pro co je vhodný z hlediska použití, dodávané rozměry a průměry, technický list a přehled hodnot včetně odchylek u vybraných parametrů a metodik zkoušení. Pro klienty jsou zpracovány katalogy výrobků v angličtině a němčině, které obsahují buď přímo vzorky výrobků, nebo fotodokumentace pro jejich použití.

2.6 Legislativní předpisy

Jedná se o druhy papírových lepenek, které jsou určeny jako obal pro přímý styk s potravinami ve smyslu nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č.1935/2004, zákona č.258/2000 Sb. (zákon o ochraně veřejného zdraví) a příslušných prováděcích předpisů v platném znění, vyhlášky č.38/2001 Sb. (o hygienických požadavcích na výrobky, určené pro styk s potravinami a pokrmami) v aktuálním znění pozdějších předpisů.

Na tyto druhy materiálů si podnik nechává zpracovat expertní posudek od Státního zdravotního ústavu Praha, což je doloženo potřebnými zkouškami od

akreditovaných laboratoří. Na základě tohoto posudku je při požadavku zákazníka vypracováno prohlášení o shodě.

2.7 Ekologie

Důležitou oblast zaujímá vliv na životní prostředí a to zejména v oblasti prvovýroby, kde dochází ke značné spotřebě povrchové vody a k jejímu následnému znečištění. Proto podnik před pěti lety přistoupil k důsledné recirkulaci odpadních vod, které byly svedeny do jednoho místa = flotačního zařízení, kde dochází k předčištění této odpadní vody. Vlákna v této odpadní vodě vyflotují na povrch, jsou zachyceny a opět vráceny do výrobního procesu. Částečně předčištěná voda jde na druhý stupeň předčištění, kde na mikrofiltrech dosáhne čistoty 10-20 mg/l nerozpuštěných látek (pozn.: při nátoku na flotační zařízení má voda 500-600 mg/l nerozpuštěných látek). Takto předčištěnou vodu je možné opět použít ve velkém rozsahu pro technologický proces. Tímto zokruhováním bylo ve firmě dosaženo značného snížení spotřeby povrchové vody (2,5 x). Recirkulací odpadních vod dochází ale na druhé straně k chemickému znečištění vody tj. stoupá znečištění v jednotkách BSK (biologická spotřeba kyslíku) a CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Toto chemické znečištění je odbouráno na biologické čističce, která byla postavena následně po zokruhování odpadních vod. Tím podnik splňuje zákonné limity pro vypouštění odpadních vod, což je nezbytné pro jeho existenci.

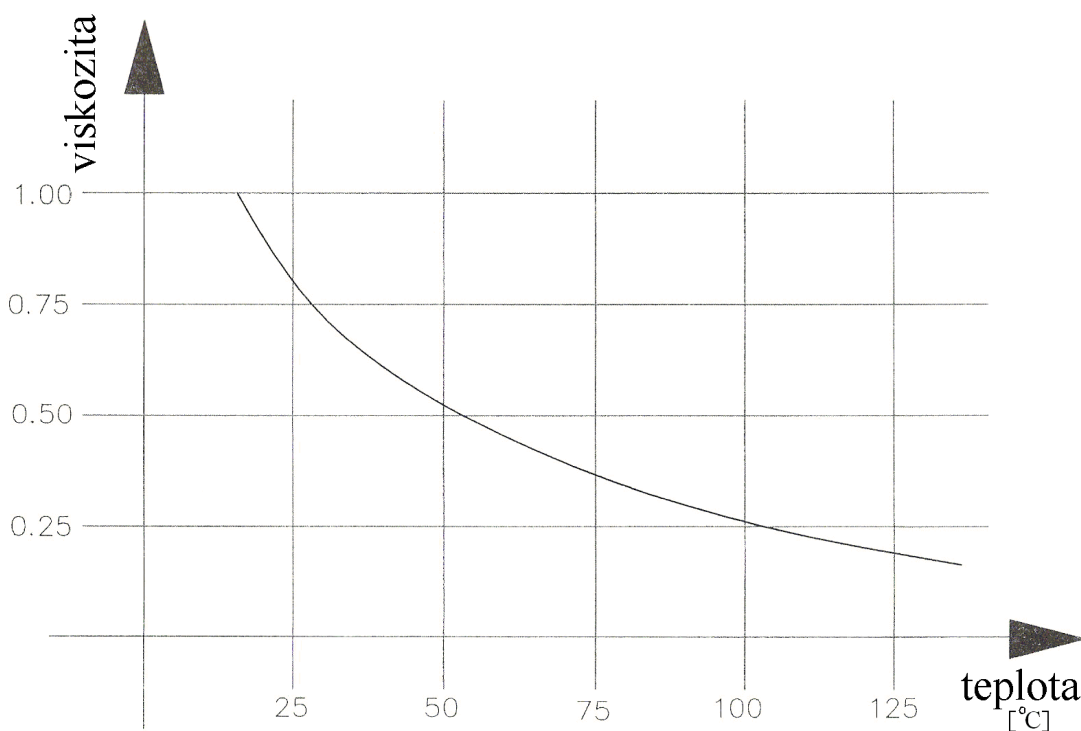
3 Plánování inovace technologického zařízení

Inovační proces lze systematicky plánovat a řídit. K tomuto účelu slouží specifické metodické postupy, které celý proces inovace zrychlují a zefektivňují. V úvodní fázi inovačního procesu proto učiním kroky, které jsou nutností pro použití těchto jednotlivých metod. Proces plánování začíná identifikací inovačních příležitostí, které jsou založeny na dialogu s uživatelem resp. zákazníkem, sběru jeho názorů, rozboru kladů a záporů konkurenčních výrobků apod. [6]

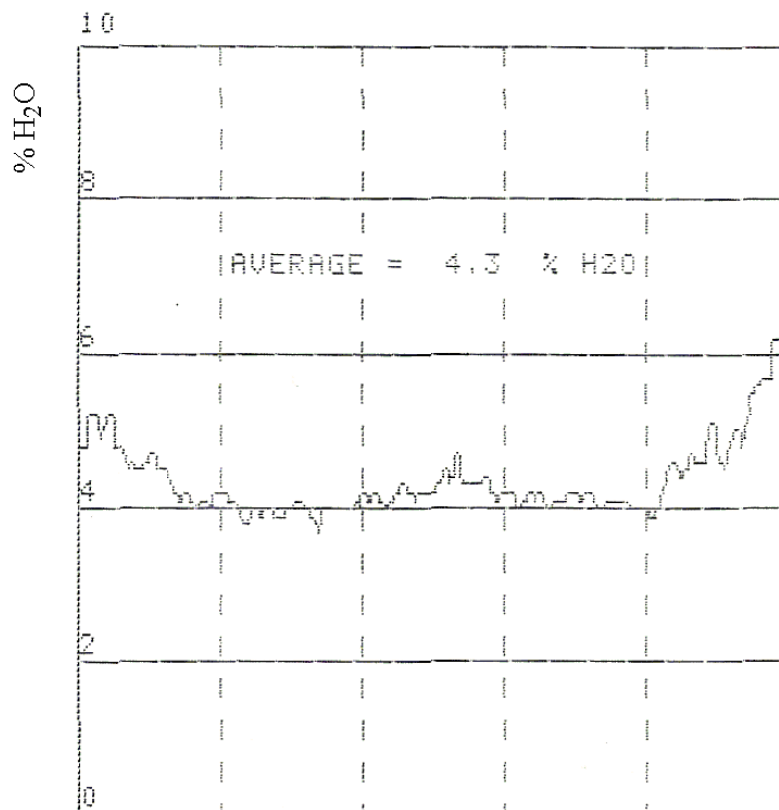
3.1 Inovační záměr

Cílem této inovace je navrhnout parní skříň, začleněnou do technologického zařízení na výrobu papírové lepenky, která dokáže zrovnomernit vlhkostní příčný profil papírové lepenky (Obr.3.2.) a zabránit tím vlnění lepenky. Po strážce vlhkosti je výsledkem mnohem rovnoměrnější list. Lepenka tak bude rovinná a bude se lépe zpracovávat.

Dalším přínosem napařovací skříně je přenos tepla (energie) na lepenkový pás. Pára je velmi efektivní zdroj energie, 1 kg páry zkondenzované na lepenkovém pásu uvolňuje 539 kcal latentního (zbytkového) tepla. Vysoká efektivita spočívá v tom, že téměř veškerá dostupná energie je využita jako teplo přenesené do lepenkového pásu. Toto přenesené teplo ohřívá vodu obsaženou v lepenkovém listu a s rostoucí teplotou vody klesá její viskozita (Obr.3.1.). Snížením viskozity vody je docíleno výrazné zvýšení objemu vody odstraněné z papírového archu v sušící části stroje. Tímto napařovací skříň zvýší podíl sušiny na začátku sušící části stroje a tím umožní zvýšení výkonu stroje. Výsledkem je sušší a teplejší list opouštějící lisovou část stroje, což také zmenšuje měrnou spotřebu páry na sušení.



Obr.3.1.: graf viskozity vody v závislosti na teplotě



Obr.3.2.: příklad příčného vlhkostního profilu

3.2 Identifikace zákaznických potřeb

Cílem metod pro identifikaci zákaznických potřeb je snaha vytvořit kvalitní informační kanál mezi zákazníkem a pracovníky podílejícími se na inovaci výrobku. Předpokladem úspěchu je to, že management a členové inovačního týmu, kteří bezprostředně ovlivňují charakteristiky výrobku, musí být v přímém kontaktu se zákazníky a mít zkušenosti s chováním a používáním výrobku. Bez této přímé zkušenosti nemohou být technická řešení a zákonité kompromisy udělány dobře, a tím pádem nebudou objevena skutečně inovační řešení [6]. Cílem metod zaměřených na identifikaci zákaznických potřeb je proto zejména:

- identifikovat skryté a zřejmé potřeby zákazníka
- zajistit, že nebude opominuta žádná zásadní potřeba
- umožnit ověření vazby mezi potřebami a charakteristikami výrobku



- zaznamenat informace o zákaznických potřebách
- usnadnit porozumění jednotlivým potřebám zákazníků manažery a členy inovačního týmu

Po diskuzi s mým konzultantem, který reprezentuje podnik Papírny Bělá a.s. jakožto zákazníka, jsem vypracoval afinní diagram zákaznických potřeb, kde jsou jednotlivé, již interpretované, potřeby uspořádány do skupin.

Afinní diagram zákaznických potřeb

Umístění parní skříně

Musí být začleněna do technologického zařízení na výrobu papírové lepenky

Měla by být umístěna na konci lisové části stroje

Musí být umístěna před sušicí sekci stroje

Funkce parní skříně

Dokáže zrovnoměnit příčný vlhkostní profil

Dokáže přenést teplo na lepenkový pás

Dokáže snížit viskozitu vody v lepenkovém pásu

Zajistí zvýšení podílu sušiny v papírové lepence na začátku sušicí sekce

Přínosy parní skříně

Dokáže zabránit vlnění lepenky

Zajistí, aby papírová lepenka byla rovinná a lépe zpracovatelná

Umožní zvýšení výkonu stroje

Výsledkem je teplejší list opouštějící lisovou část stroje

Zmenší měrnou spotřebu páry stroje

Umožní zmenšení sušící sekce stroje

Celkově zvýší rychlost a produktivitu stroje

Zajistí zvýšení objemu odstraněné vody z lepenkového pásu na sušícím lisu

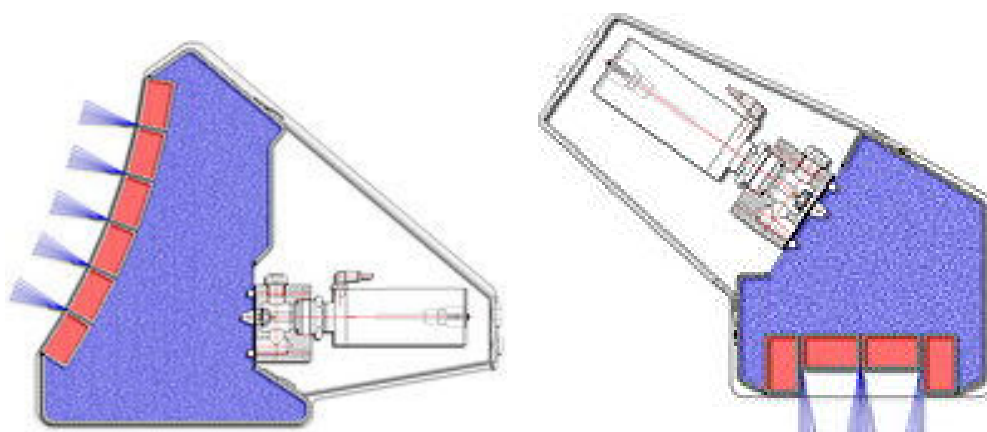
4 Průzkum již známých řešení

Každému inovačnímu procesu předchází průzkum trhu a analýza již známých řešení [6.] Proto byl proveden průzkum v oblasti parních skříní a lze říci, že na celém světě je jen málo firem, které jsou schopny dodat speciální parní skříně použitelné pro papírenský průmysl. V České republice není žádný výrobce parních skříní a dodat parní skřín pro papírenský průmysl je schopno jen málo firem. I z tohoto důvodu probíhala komunikace s převážně zahraničními společnostmi pomocí internetu. Zjištěné informace jsou však jen obecného charakteru, protože si výrobci chrání své „know-how“ a bližší informace bez vytvoření projektové nabídky nesdělí. I z tohoto důvodu se v této práci budu převážně věnovat mnou navrženými konstrukčními řešeními parních skříní.

Samozřejmě každé zařízení má své výhody a nevýhody, a proto v níže uvedených bodech uvedu nalezená řešení a poté v závěru své diplomové práce zjištěné parametry porovnáám s vlastními návrhy.

4.1 Parní skřín č. 1

Firma Hans U. Jakob Papiertechnik AG dodává parní skřín, která lze využít též v papírenském průmyslu. Pracuje s nasycenou nebo přehřátou parou a slouží ke zlepšení vlhkostního profilu a tím kladně ovlivňuje kvalitu povrchu papírové lepenky. Princip je patrný z níže uvedeného obrázku (Obr.4.1.). Skřín je rozdělena do několika sekcí, přičemž každá ze sekcí je zásobována parou z dvoucestného ventilu, který plní komoru, ze které výstupními štěrbinami proudí pára ven na papírovou lepenku.

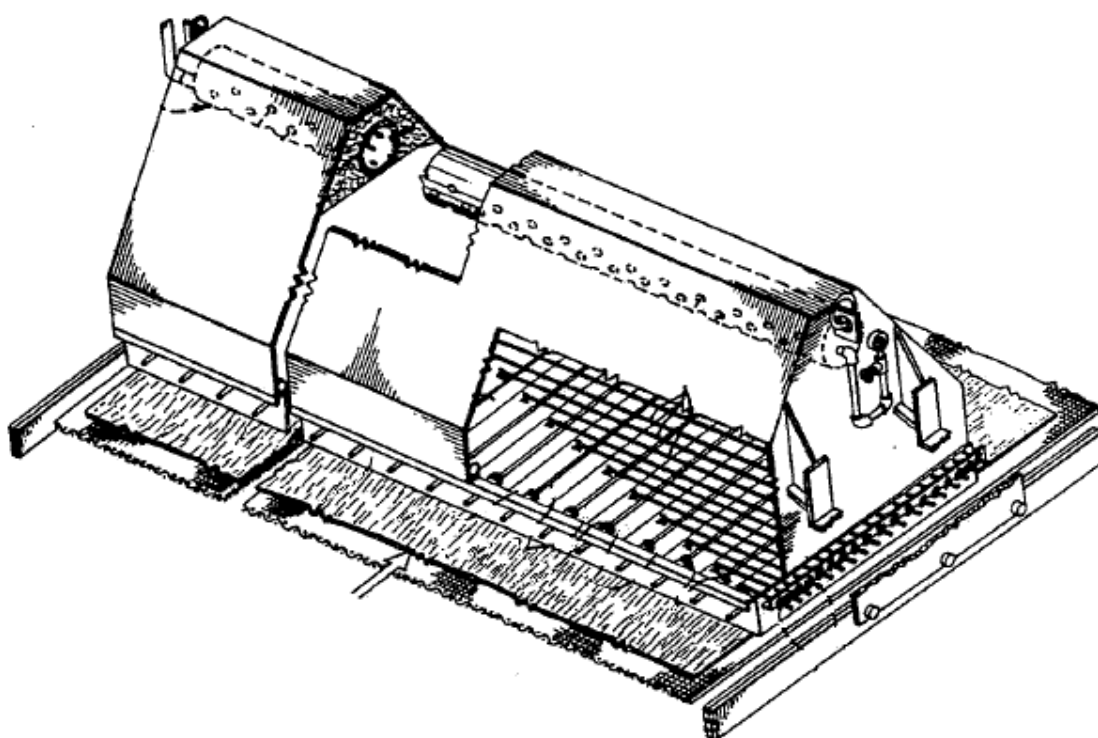


Obr.4.1.: řez parní skříní

4.2 Parní skříň č. 2

Parní skříň firmy Weyerhaeuser (Obr.4.2.) je možné použít na regulaci příčného vlhkostního profilu u různých tkaniv a papírových archů. Pára o nepatrně větším tlaku než je atmosférický zcela vyplňuje prostor skříně. Pára je přiváděna do vedle sebe umístěných oddělení. Každé oddělení obsahuje klapku, která lze individuálně, manuálně regulovat obsluhou stroje. Právě pozice klapky určuje množství páry působící na papírový arch. Správné přivření či otevření klapky zajišťuje docílení rovnoměrného vlhkostního profilu napříč papírovým archem.

Toto řešení parní skříně je již zastaralé a neodpovídá dnešním standardům na automatizaci, rychlost a kvalitu výroby. Je vhodné pouze na zrovnoměrnění příčného vlhkostního profilu, nikoli pro efektivní přenos tepla do papírové lepenky (z důvodu nízké rychlosti proudění).



Obr.4.2.: náčrtek parní skříně

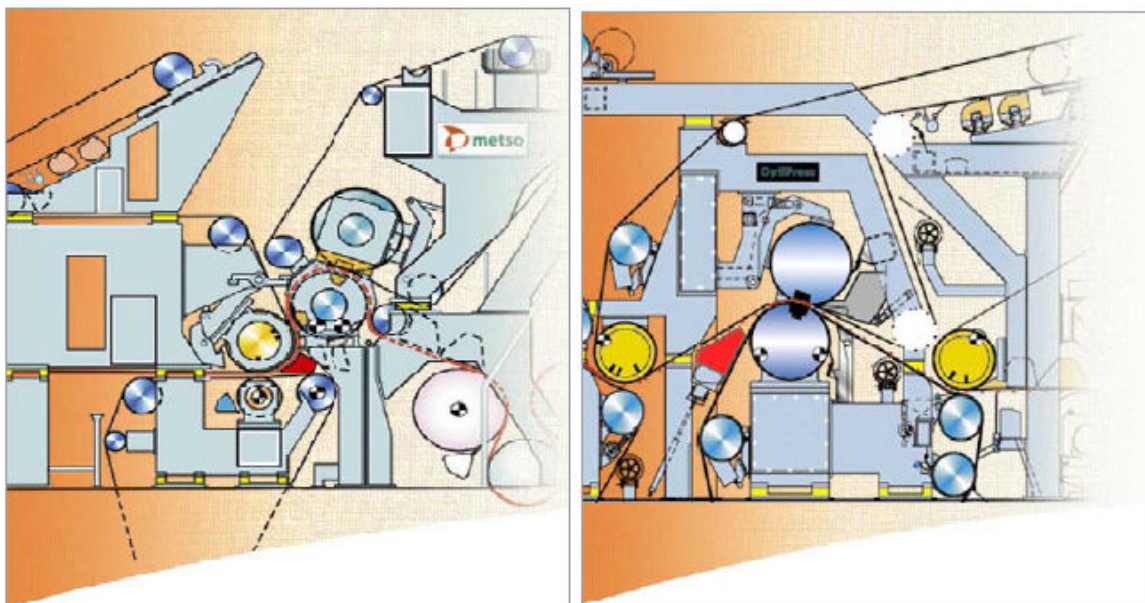
4.3 Parní skříň č. 3

Firma Metso je výrobcem papírenských strojů nové generace a také vyrábí a dodává parní skříně, které jsou jejich součástí anebo je lze dodatečně nainstalovat. Umístění parních skříní (červeně znázorněné) je dobře patrné z uvedených obrázků (Obr.4.3.).

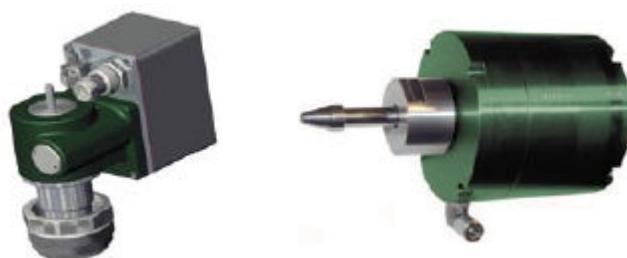
Bohužel konstrukce nových papírenských strojů je značně odlišná od stroje používaného v Papírnách Bělá a.s., a proto by muselo při instalaci parní skříně Metso dojít ke značným úpravám konstrukce na této skříně, což by asi bylo možné, ale určitě o to víc nákladné. Díky konstrukci nových papírenských strojů lze volit umístění těchto parních skříní v těchto strojích, což v případě papírenského stroje v Papírnách Bělá není možné.

Parní skříně Metso se používají ke stejnému účelu, tj. ke zrovnoměnění příčného vlhkostního profilu a s tím souvisejících výhod. U těchto parních skříní si zákazník může zvolit variantu používající k distribuci páry elektromechanické nebo

pneumatické ventily (Obr.4.4.), což ocení tam, kde např. nemají rozvod stlačeného vzduchu.



Obr.4.3.: papírenský stroj Metso a v něm nainstalované parní skříně



Obr.4.4.: elektrický ventil (vlevo) a pneumatický (vpravo) ventil Metso

5 Vlastní konstrukční návrhy

5.1 Návrh parní skříně č. 1

Parní skříň (Obr.5.1.) je příčně rozdělena do deseti zón, kde lze regulovat přívod páry do jednotlivých zón. Každá zóna je navržena se dvěma řízenými komorami (stupni) a každá má svůj výtokový otvor (Obr.5.2.). Regulace přívodu páry do jednotlivých zón, potažmo komor se děje pomocí speciálních třicestných ventilů

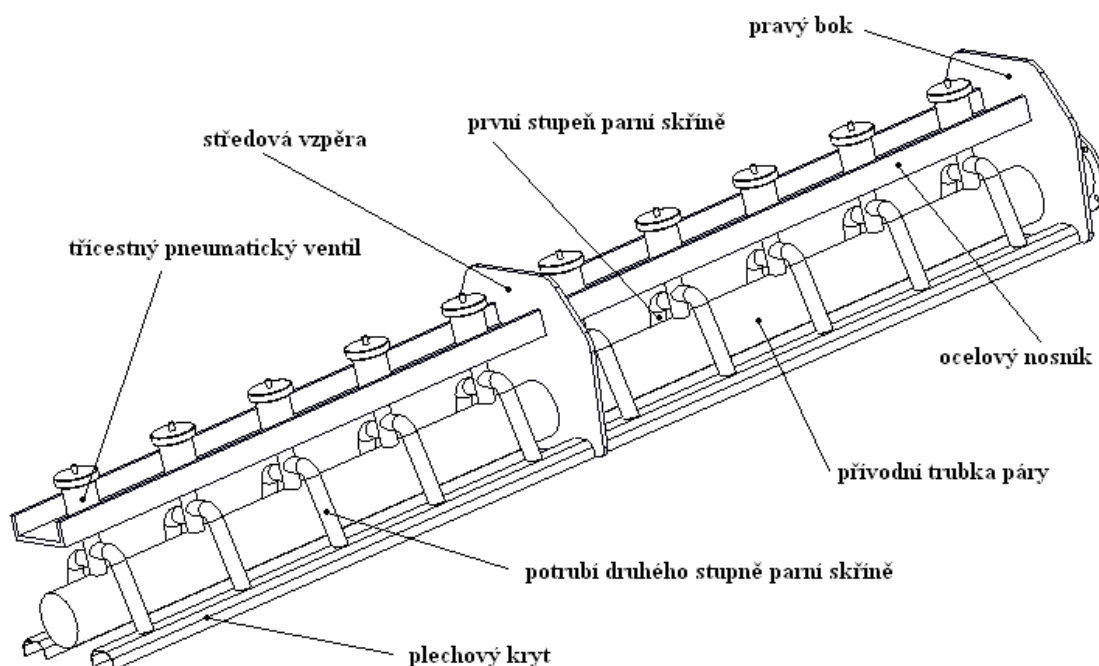
přívodu páry. Tyto ventily spolu s umístěním regulovaných otvorů umožňují nechat 1. stupeň otevřený a druhý stupeň přivřený či úplně uzavřený. Princip je patrný na obrázku níže (Obr.5.5., Obr.5.6.).

Jedná se o pneumaticky ovládané ventily a pro přívod stlačeného vzduchu k ventilům poslouží zdejší rozvod. Počet zón je dán počtem ventilů umístěných v parní skříni (Obr.5.3.).

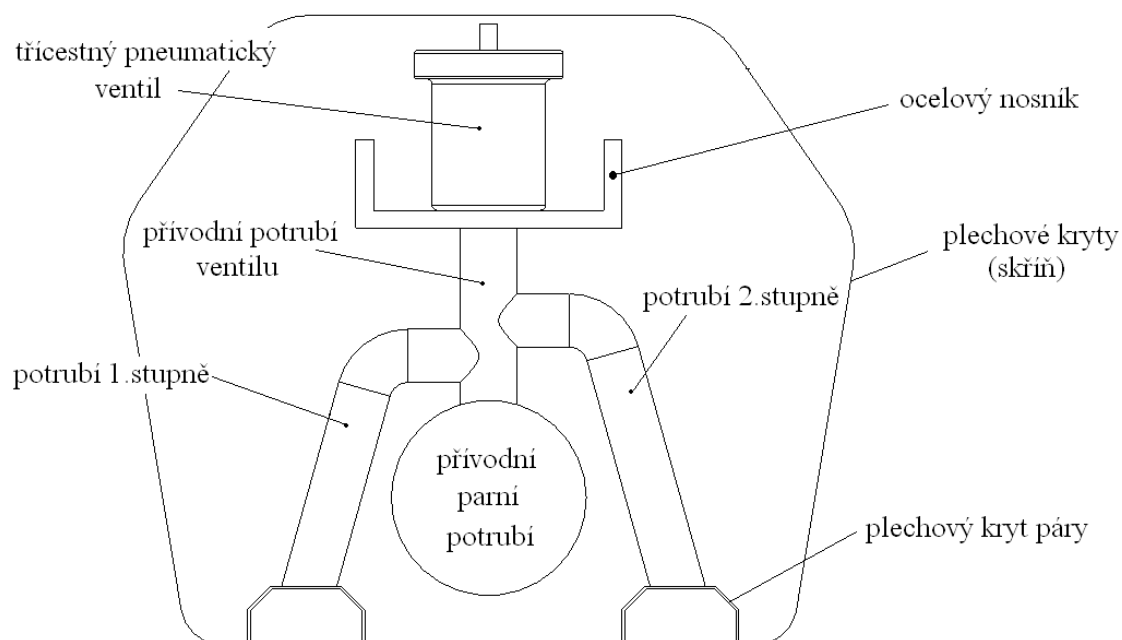
Základním prvkem pneumatického pohonu je membránový modul, sestavený ze dvou vík, mezi které je sevřena membrána. Ta je podepřena pístem a její pohyb je z jedné strany určován tlakem ovládacího vzduchu a z druhé strany silou pružin. Pohon pracuje tak, že pružiny zajišťují zasouvání táhla pohonu do modulu, tlak vzduchu způsobuje jeho vysouvání. Uvažovaný ventil je v tomto případě bez vzduchu otevřen. Je možné použít pneu-pohon přímo k ovládání regulačního ventilu a řídit velikost otevření ventilu změnou tlaku ovládacího vzduchu.

Řízení toku páry do jednotlivých komor parní skříně (resp. ventilů) bude prováděno manuálním otevíráním či zavíráním přívodu stlačeného vzduchu do jednotlivých pneumatických ventilů.

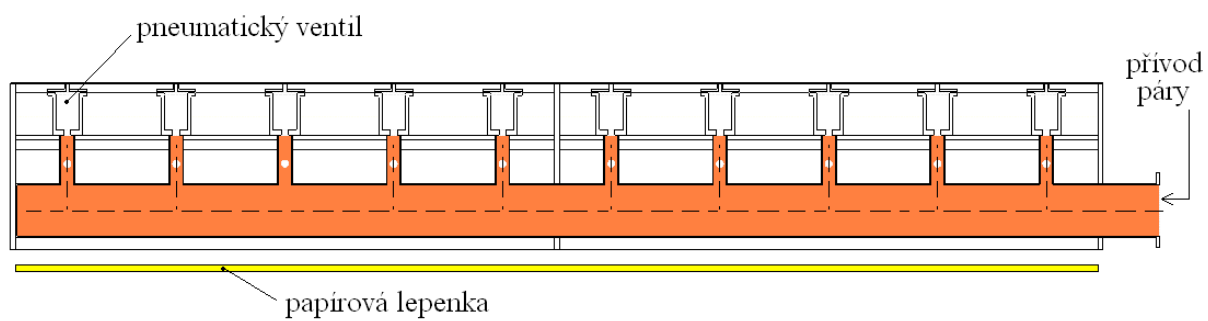
Toto ovládání parní skříně bude provádět operátor z velína v závislosti na příčném vlhkostním profilu, který je snímán nainstalovaným měřícím rámem ELITE 3000. V budoucnu je možné ovládání napojit na řídicí počítač papírenského stroje a bude tak prováděno automaticky.



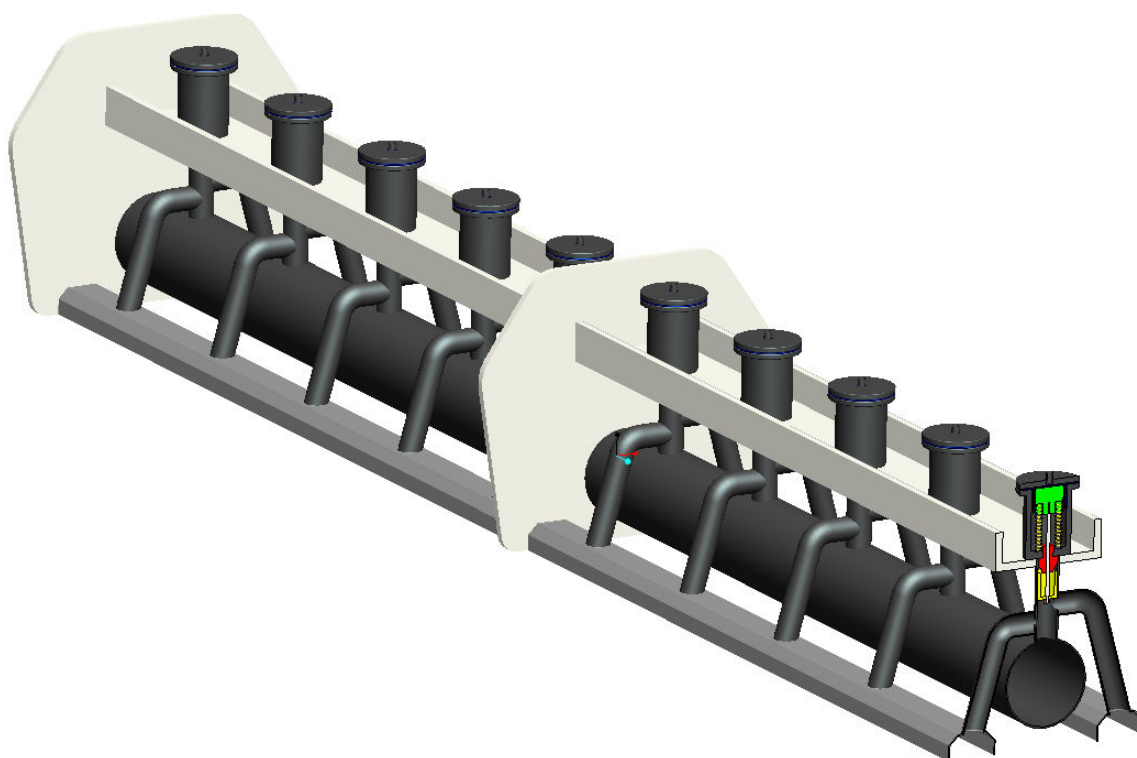
Obr.5.1.: „drátěný“ 3D model parní skříně



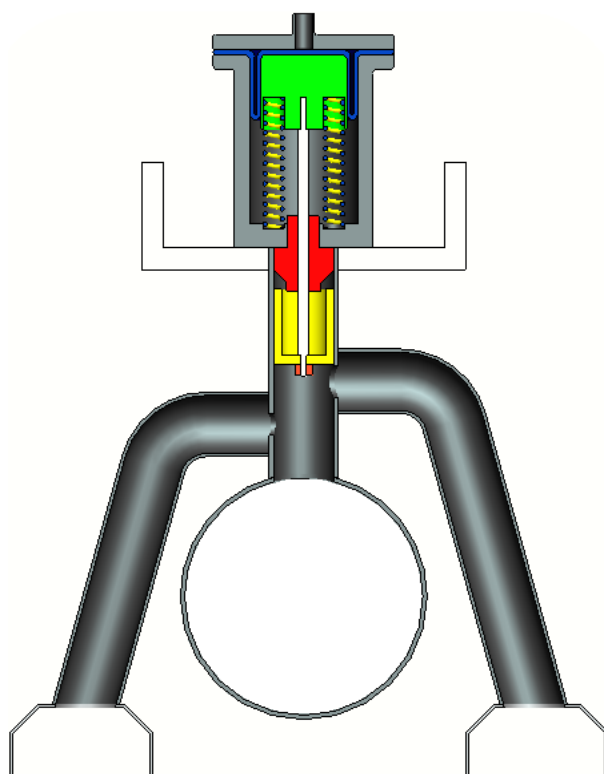
Obr.5.2.: příčný řez parní skříní (2D)



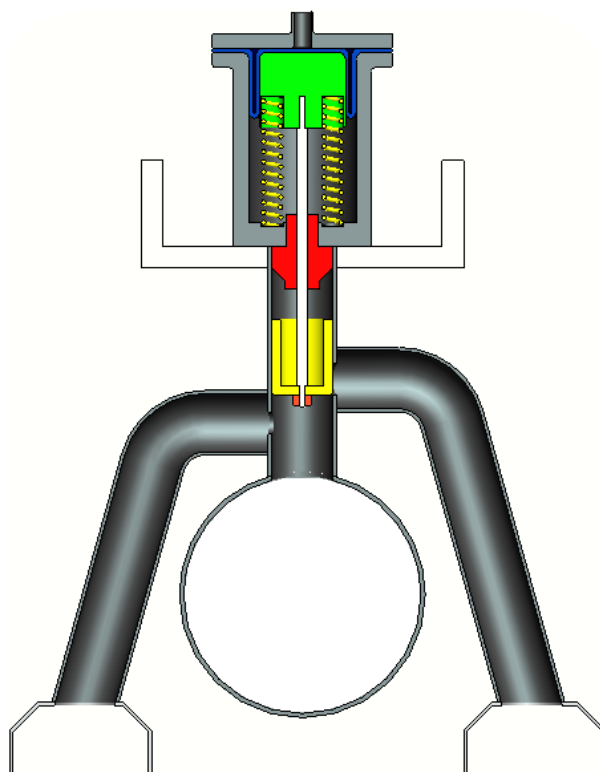
Obr.5.3.: podélný řez parní skříní (2D)



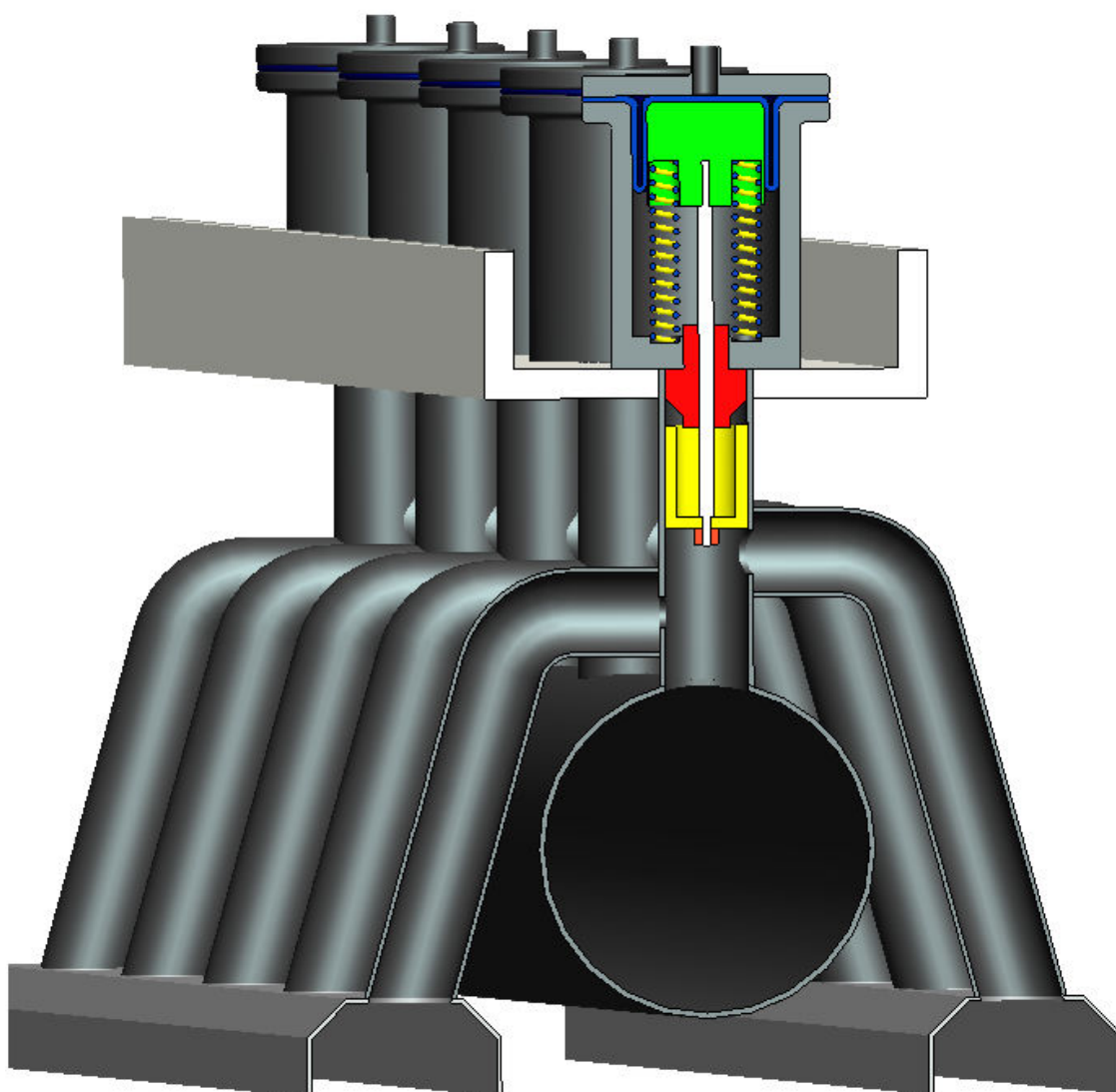
Obr.5.4.: model parní skříně (3D)



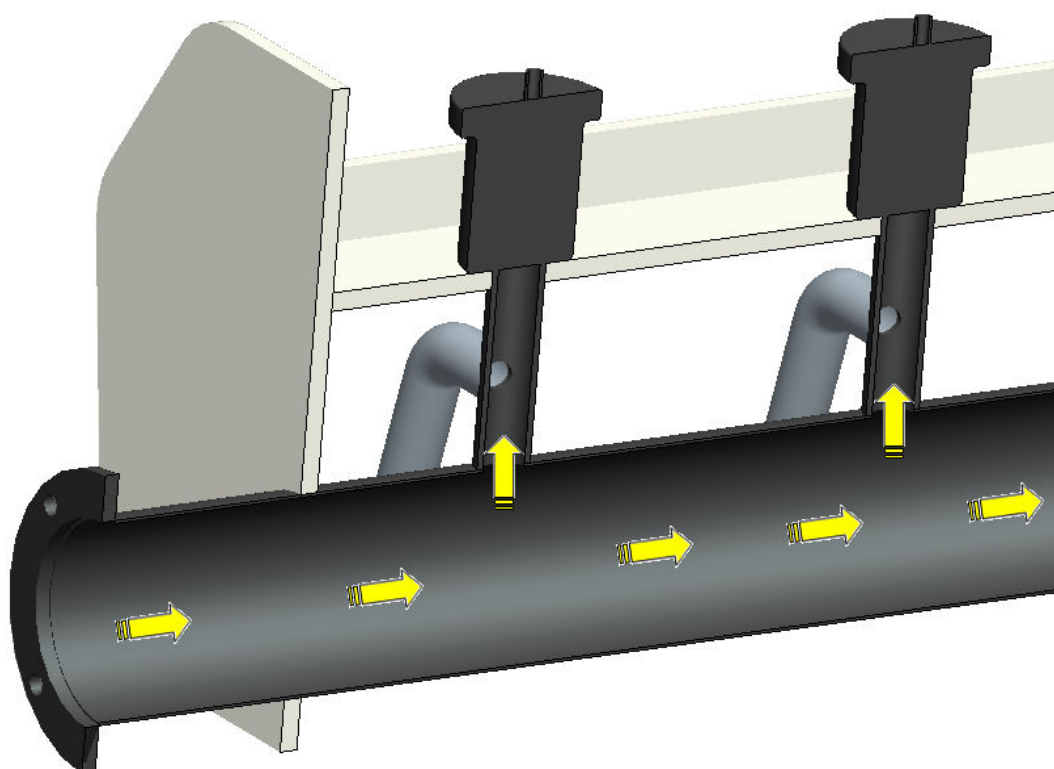
Obr.5.5.: ventil je plně otevřený



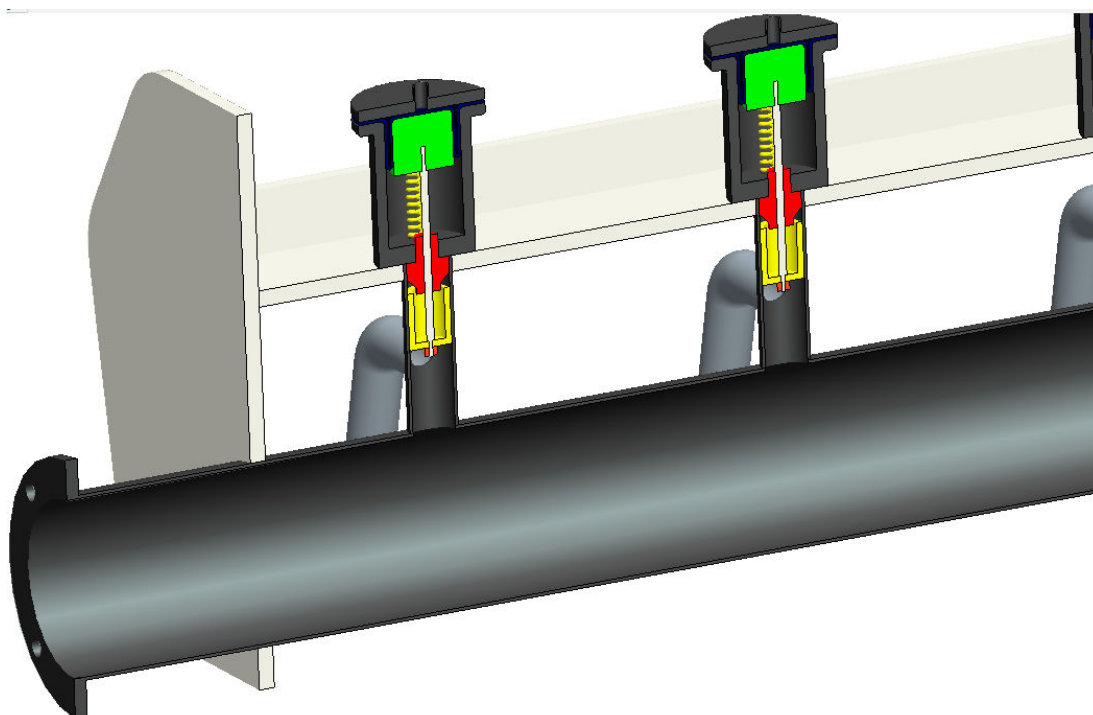
Obr.5.6.: záklopka uzavírá 2. stupeň



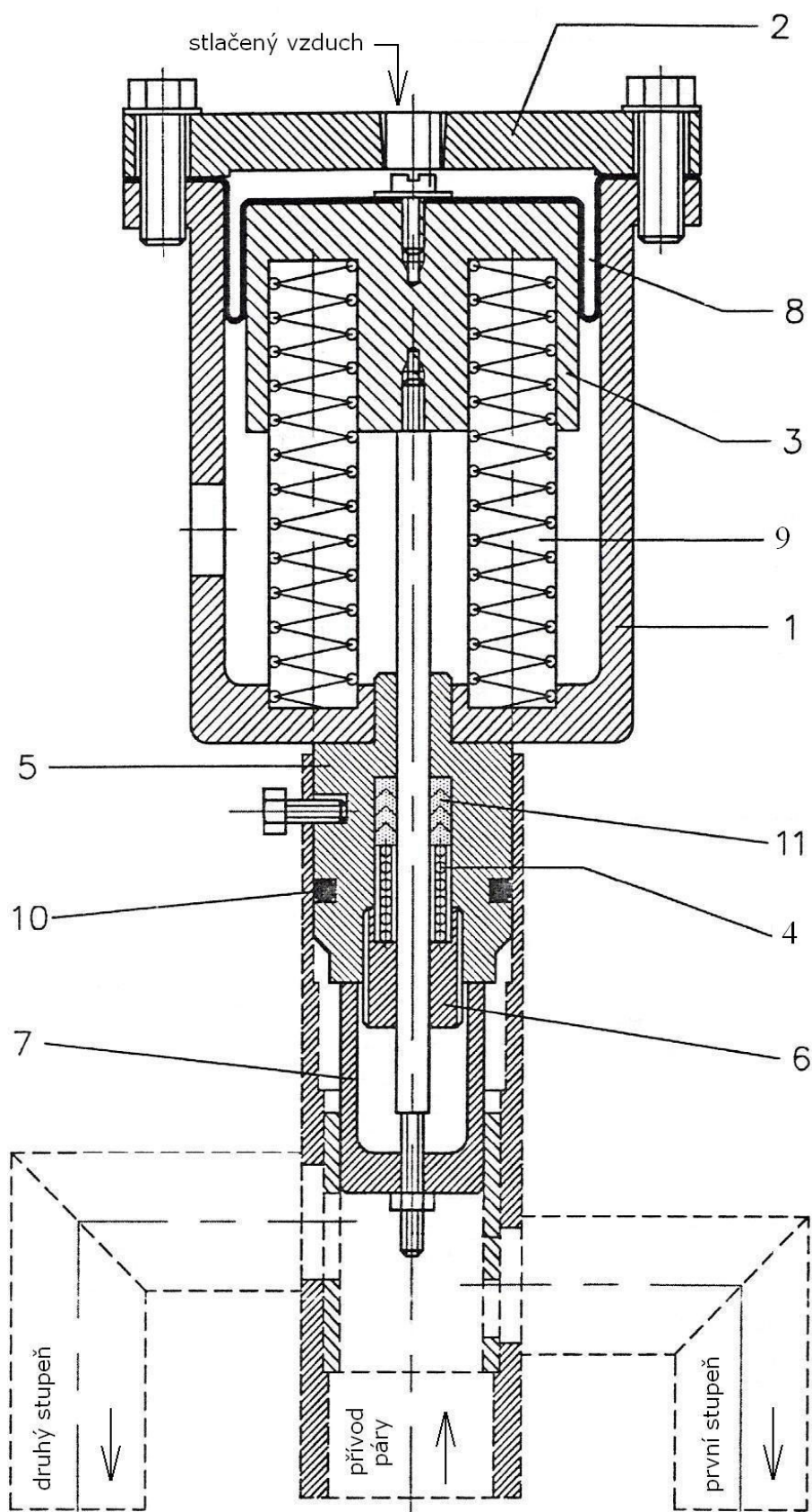
Obr.5.7.: příčný řez parní skříní (3D)



Obr.5.8.: směr proudu páry v parní skříni



Obr.5.9.: řez parní skříní

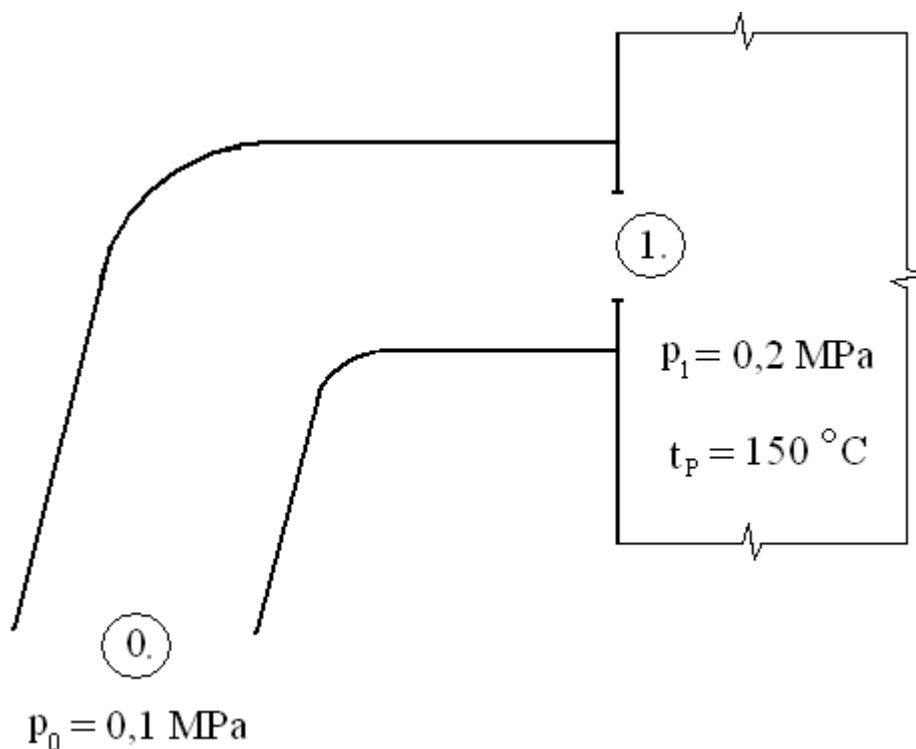


Obr.5.10.: řez pneumatickým ventilem přívodu páry

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1 – válec | 7 – záklopka |
| 2 – vrchní příruba | 8 – membrána |
| 3 – píst | 9 – hlavní pružiny |
| 4 – pružina ucpávky | 10 – těsnící kroužek |
| 5 – ucpávka matice | 11 – ucpávka (sada těsnění) |
| 6 – průchodka | |

5.1.1 Výpočty proudění na 1. stupni ventilu

Zvolený třicestný parní ventil rozděluje páru do dvou výtoků (stupňů). První stupeň (Obr.5.11.) bude neustále plně otevřený (100% průtoku) a ve výpočtech tedy nepočítám s regulováním průtoku. V parním potrubí je tlak páry udržován na hodnotě 0,2 MPa a teplota páry je 150 °C. Na výstupu pára vytéká do volné atmosféry, tzn. do prostředí o barometrickém tlaku 0,1 MPa. Jelikož se jedná o velmi krátký úsek potrubí, třecí a místní tlakové ztráty se ve výpočtech neuvažují.



Obr.5.11.: schéma výtoku na 1. stupni ventilu



Znamé hodnoty:

$p_1 = 200000 \text{ Pa}$ tlak vodní páry v přívodním potrubí
 $p_0 = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ normální barometrický tlak
 $t_p = 150 \text{ °C}$ teplota přehřáté páry
 $D_1 = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$ průměr kruhového otvoru (1. stupeň ventilu)
 $D_0 = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$ průměr na vyústění potrubí

Stav vodní páry o tlaku $p_1 = 0.2 \text{ MPa}$ a teplotě $t_p = 150 \text{ °C}$:

Z tabulky syté kapaliny a syté páry H_2O stanovíme teplotu syté páry o tlaku 0.2 MPa
na: $t_{23} = 120 \text{ °C} < t = 150 \text{ °C} \rightarrow$ jedná se tedy o přehřátou páru.

Přehřátí páry je: $\Delta t = t - t_{23} = 150 - 120 = 30 \text{ °C}$

a z tabulky přehřáté vodní páry nebo z i-s diagramu lze stanovit pro tlak p_1 a teplotu t_p
měrný objem a entalpii páry.

Hodnoty zjištěné z i-s diagramu vodní páry:

$i_1 = 2760 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 2760 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ měrná entalpie
 $i_K = 2640 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 2640 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ měrná entalpie
 $v_K = 0.7 \text{ m}^3/\text{kg}$ měrný objem

Ostatní veličiny potřebné k výpočtům:

$\alpha = 1$ součinitel kontrakce
 $\varphi = 0.82$ rychlostní součinitel

Vlastní výpočet:

tlakový poměr:

$$\beta = \frac{p_2}{p_0} = \frac{100000}{200000} = 0.5 \text{ kritický tlakový poměr}$$

Spočtený tlakový poměr se nachází těsně na kritické hranici. Kritický tlakový poměr je poměr tlaku kapaliny v potrubí a v okolním prostředí, při němž je rychlost kapaliny vytékající otvorem nejvyšší tj. rychlost kritická a při dalším zvyšování tlakového poměru již rychlost neroste (pozn. neplatí při výtoku plynu Lavalovou dýzou).

teoretická rychlost proudění:

$$w_{k\text{ teor}} = \sqrt{2(i_1 - i_k)} = \sqrt{2 \cdot (2760 - 2640)} = \sqrt{240 \cdot 10^3} = 489,898 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

skutečná rychlost proudění:

$$w_k = \varphi \cdot w_{k\text{ teor}} = 0,82 \cdot 489,898 = 401,716 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

hmotnostní tok:

$$\dot{m} = \frac{w_k \cdot S_1 \cdot \alpha}{v_k} = 0,045072 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 45,072 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} = 0,0000785 \text{ m}^2$$

Ze vzorce na výpočet hmotnostního průtoku si vyjádřím vztah na výpočet výstupní rychlosti :

$$\dot{m} = \text{konst.}$$

$$v_0 = v_k = \text{konst.}$$

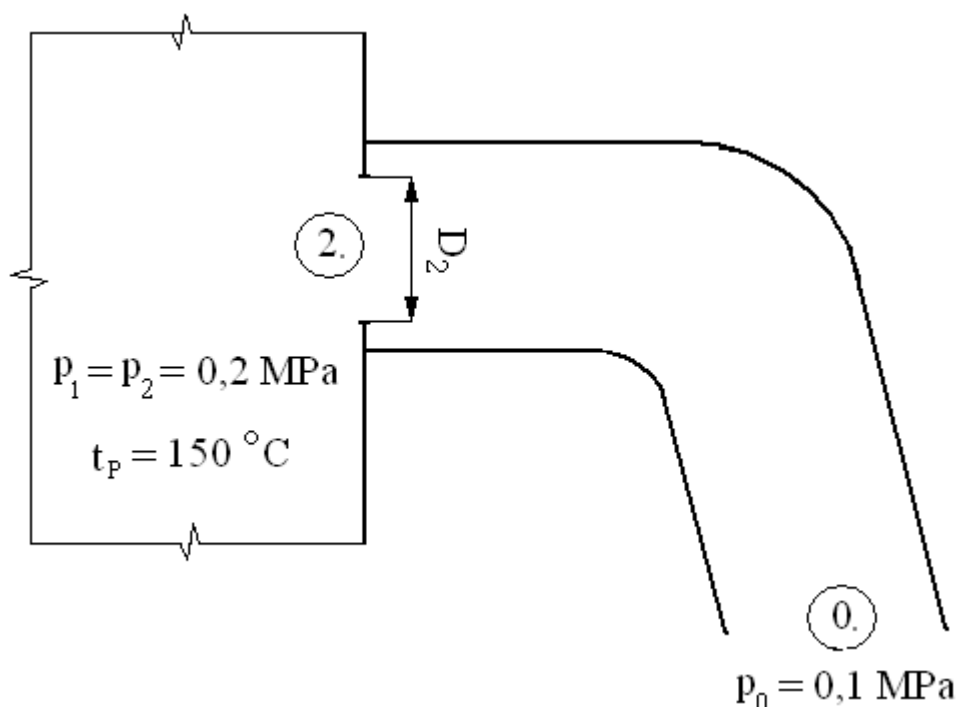
$$\dot{m} = \frac{w_2 \cdot S_0 \cdot \alpha}{v_0}$$

po vyjádření a dosazení:

$$w_2 = \frac{\dot{m} \cdot v_0}{S_0} = 16,0685 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

5.1.2 Výpočty proudění na 2. stupni ventilu

Druhý stupeň parní skříně, resp. druhý výtok ventilu (Obr.5.12.) bude plně regulovatelný od 0 do 100% průtoku a tedy i ve výpočtech musím toto zohlednit. V parním potrubí je tlak páry udržován na hodnotě 0,2 MPa a teplota páry je 150 °C. Pára na výstupu proudí do volné atmosféry tzn. do prostředí o barometrickém tlaku 0,1 MPa.



Obr.5.12.: schéma výtoku na 2. stupni ventilu

Znamé hodnoty:

- $p_1 = p_2 = 200000 \text{ Pa}$ tlak vodní páry v přívodním potrubí
 $p_0 = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ normální barometrický tlak
 $t_p = 150 \text{ °C}$ teplota přehřáté páry
 $D_2 = 15 \text{ mm}$ průměr kruhového otvoru (2. stupeň ventilu)
 $D_0 = 50 \text{ mm}$ průměr na vyústění potrubí

Hodnoty zjištěné z i-s diagramu vodní páry:

- $i_1 = 2760 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 2760 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ měrná entalpie

$$i_K = 2640 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 2640 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \dots\dots \text{měrná entalpie}$$

$$v_K = 0.7 \text{ m}^3/\text{kg} \dots\dots\dots \text{měrný objem při } t=150^\circ\text{C a } p=0,2\text{MPa}$$

Ostatní veličiny potřebné k výpočtům:

$$\alpha = 1 \dots\dots\dots \text{součinitel kontrakce}$$

$$\varphi = 0.82 \dots\dots\dots \text{rychlostní součinitel}$$

Vlastní výpočet:

tlakový poměr:

$$\beta = \frac{p_2}{p_0} = \frac{100000}{200000} = 0,5 \dots\dots\dots \text{kritický tlakový pomer}$$

teoretická rychlost:

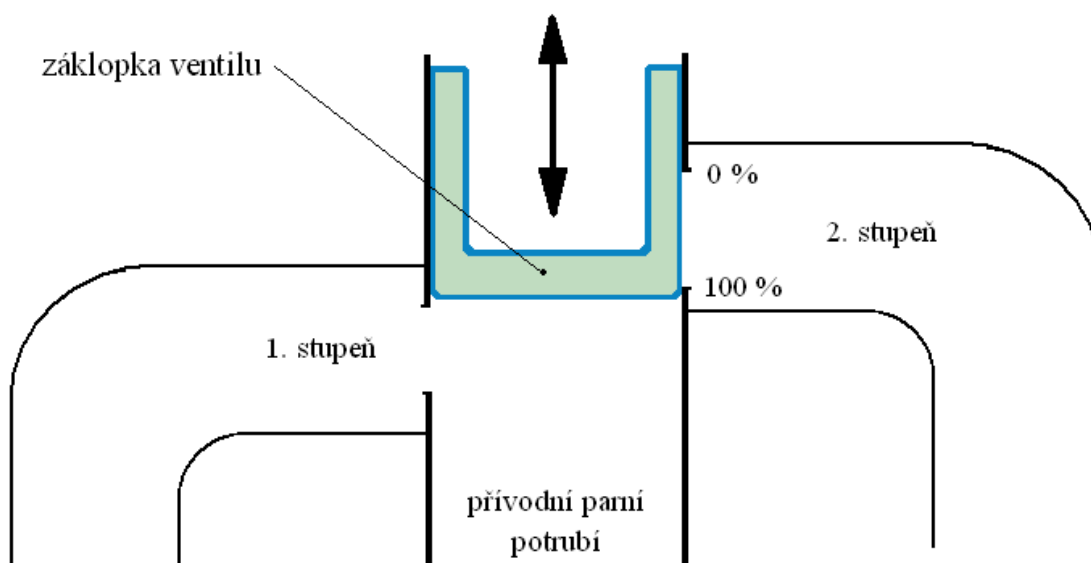
$$w_{k \text{ teor}} = \sqrt{2(i_1 - i_k)} = \sqrt{2 \cdot (2760 - 2640)} = \sqrt{240 \cdot 10^3} = 489,898 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

skutečná rychlost:

$$w_k = \varphi \cdot w_{k \text{ teor}} = 0,82 \cdot 489,898 = 401,716 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Regulace průtoku:

Regulace průtočného množství páry probíhá pomocí záklopky ventilu, která postupně reguluje průtok kruhovým průřezem v rozsahu od 0 – 100 % (Obr.5.13.), přičemž platí: 0 % - největší průtok a 100 % - nulový průtok.



Obr.5.13.: schéma regulace průtoku základkou pneumatického ventilu

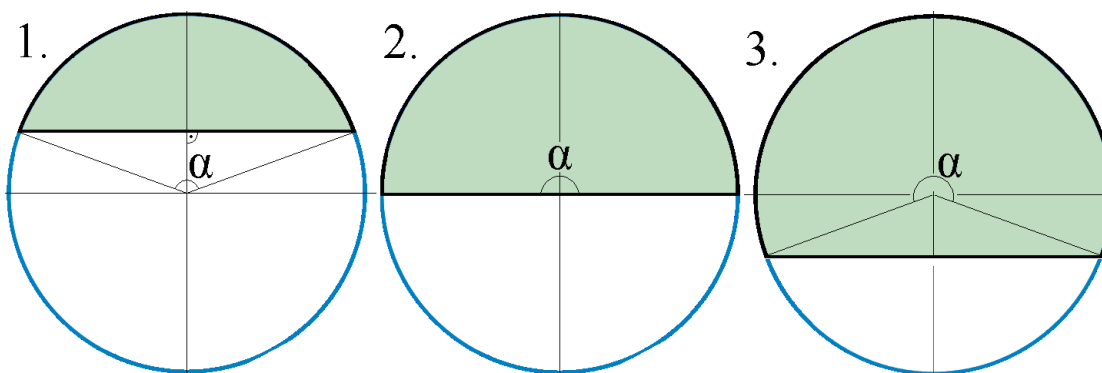
Plocha výtokového otvoru ventilu:

Plochu regulovaného otvoru, kterým protéká pára (Obr.5.14.), vypočítáme dle vztahu:

1) při konvexním úhlu ($\alpha < 180^\circ$): $S_2 = S_O - S_U$

2) při přímém úhlu ($\alpha = 180^\circ$): $S_2 = S_U = \frac{S_O}{2}$

3) při konkávním úhlu ($\alpha > 180^\circ$): $S_2 = S_U$



Obr.5.14.: průřezy přivřeným otvorem ventilu

kde je: S_2 plocha přivřeného otvoru na 2. stupni ventilu [m^2]

S_O plocha kruhového otvoru [m^2]

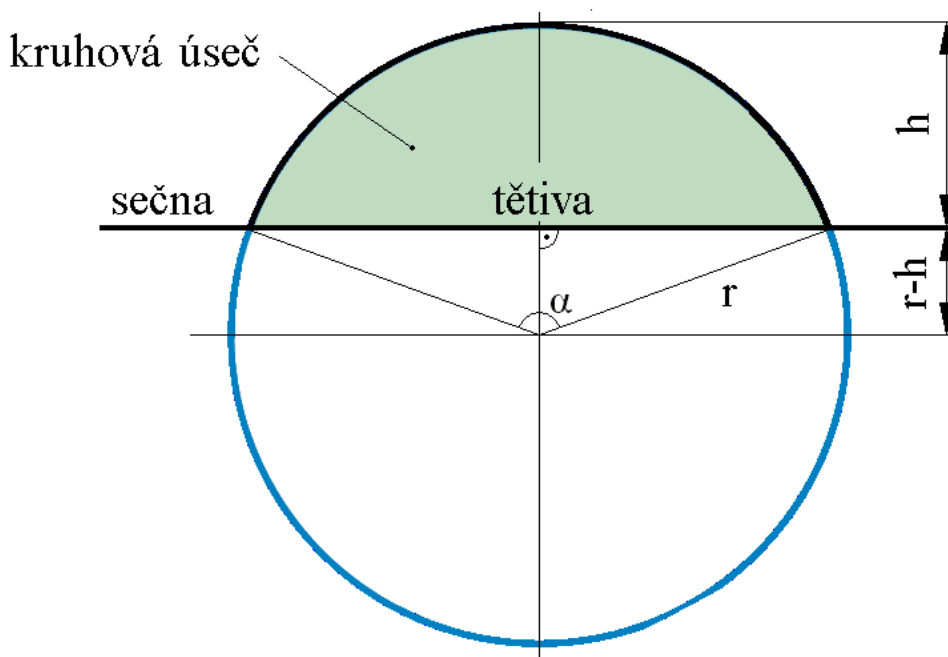
S_U plocha kruhové úseče [m^2]

- a délka tětiny [m²]
r poloměr kruhového otvoru [m]
h výška kruhové úseče [m]
l délka oblouku kruhové úseče [m]
 α středový úhel příslušný kruhové úseči [°]

Plocha kruhové úseče:

Je to část kruhu vymezená tětinou a kruhovým obloukem vzniklá rozdělením kruhu sečnou (Obr.5.15.). Obsah kruhové úseče se vypočítá podle vzorce:

$$S_U = \frac{1}{2} \cdot (l \cdot r - a \cdot (r - h))$$



Obr.5.15.: kruhová úseč

délka oblouku kruhové úseče:

$$l = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \pi \cdot r}{360}$$



délka tětivy:

$$a = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

středový úhel příslušný kruhové úseči:

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \left(\frac{r-h}{r} \right)$$

hmotnostní tok:

$$\dot{m} = \frac{w_k \cdot S_2 \cdot \alpha}{v_k}$$

Ze vzorce na výpočet hmotnostního průtoku si vyjádřím vztah na výpočet výstupní rychlosti :

$$\dot{m} = konst.$$

$$v_0 = v_k = konst..$$

$$\dot{m} = \frac{w_2 \cdot S_0 \cdot \alpha}{v_0}$$

po vyjádření dostanu vztah pro výstupní rychlost páry:

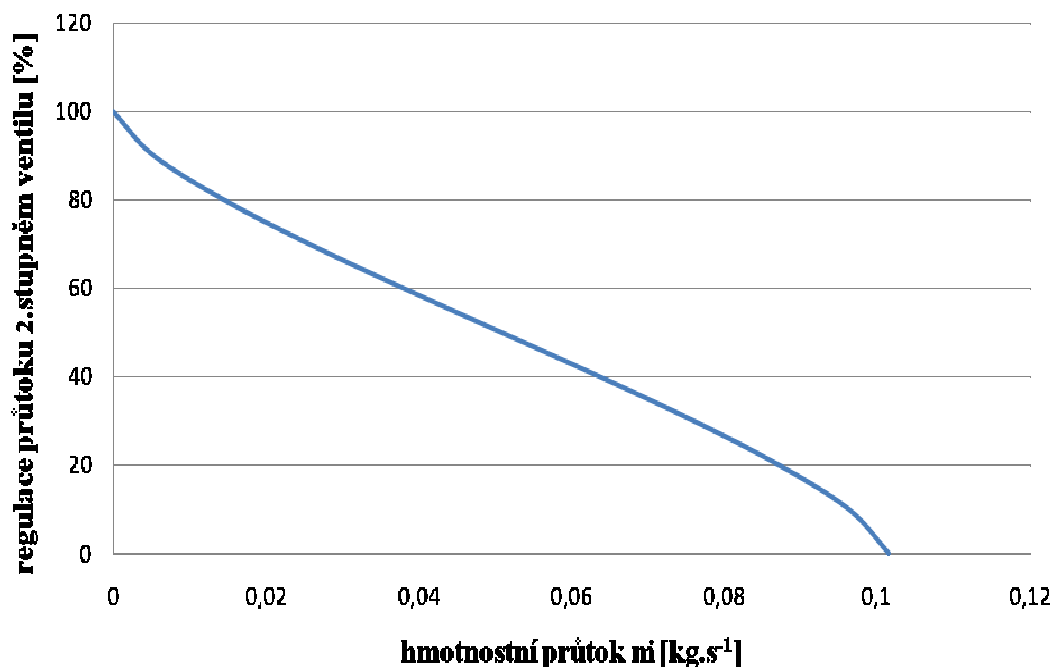
$$w_2 = \frac{\dot{m} \cdot v_0}{S_0}$$

spočtené hodnoty v závislosti na stupni regulace ventilu jsou zapsány v tabulce:

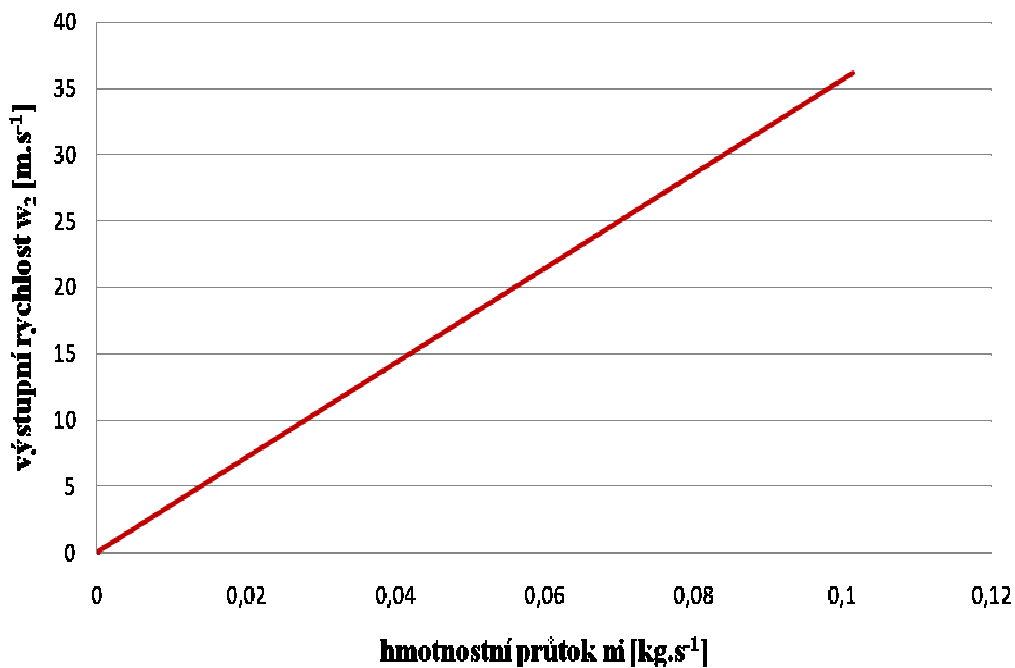
Tab.5.1 Tabulka výsledných vypočtených hodnot

průtok [%]	h [mm]	α [°]	a [mm]	l [mm]	S_u [mm ²]	S_z [m ²]	\dot{m} [kg.s ⁻¹]	w_z [m.s ⁻¹]
0	0	0	0	0	0	0,00018	0,1014132	36,17286264
10	1,5	73,7398	9	9,6525	9,19688	0,00017	0,09613523	34,29027306
20	3	106,26	12	13,9094	25,1603	0,00015	0,08697381	31,02250531
30	4,5	132,844	13,748	17,3892	44,588	0,00013	0,07582504	27,04587512
40	6	156,926	14,697	20,5416	66,0083	0,00011	0,06353196	22,66108102
50	7,5	180	15	23,5619	88,3573	8,8E-05	0,05070649	18,08639038
60	9	203,074	14,697	20,5416	66,0083	6,6E-05	0,03788067	13,51157693
70	10,5	227,156	13,748	17,3892	44,588	4,5E-05	0,02558833	9,127048929
80	12	253,74	12	13,9094	25,1603	2,5E-05	0,01443899	5,150214051
90	13,5	286,26	9	9,6525	9,19688	9,2E-06	0,00527791	1,882565017
100	15	360	0	0	0	0	0	0

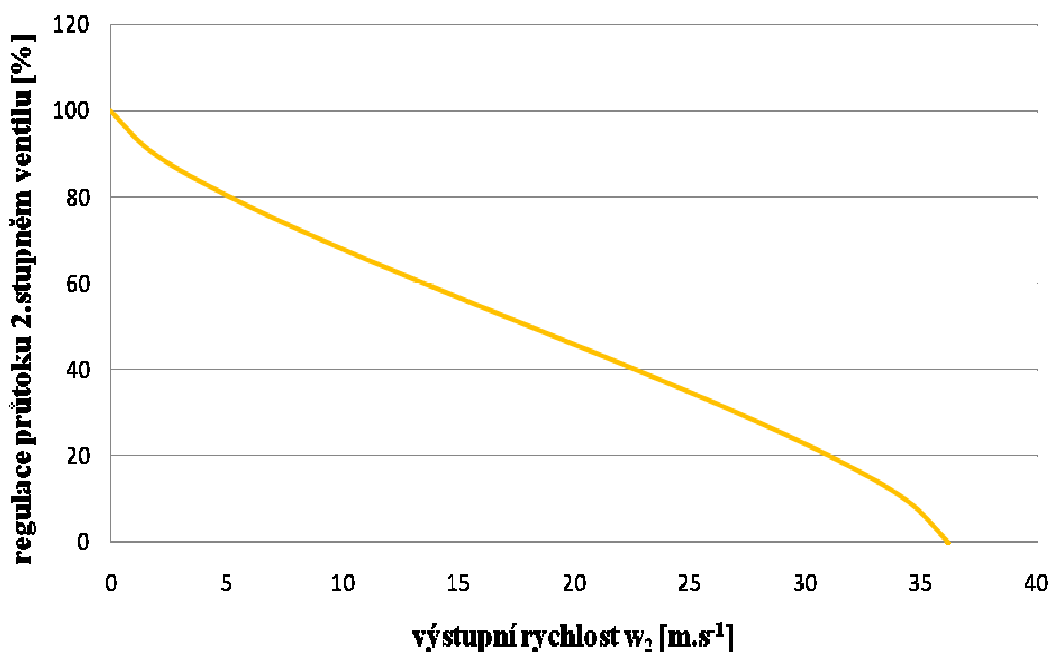
Obr.5.16.: graf závislosti hmotnostního průtoku na stupni regulace ventilu



Obr.5.17.: graf závislosti hmotnostního průtoku na stupni regulace ventilu



Obr.5.18.: graf závislosti výstupní rychlosti na stupni regulace ventilu



5.1.3 Výpočty přenosu tepla

Důležitou vlastností parní skříně je schopnost předat papírové lepence tepelnou energii a tím zvýšit její teplotu.

Proto zde bude provedeno analytické řešení přenosu tepla z páry na lepenkový pás. Tento přenos však závisí na mnoha parametrech, a pokud by mělo být docíleno naprosto přesných výsledků, musela by se provést počítačová analýza proudění a přenosu tepla ve speciálním počítačovém programu.

I tak však lze spočítat celkem přesné hodnoty s drobnými odchylkami od skutečnosti. Ve výpočtech je vycházeno ze dvou předpokladů:

- a) že všechna pára zkondenzuje na lepenkový pás a ochladí se na 70°C (horní odhad)
- b) že všechna pára zkondenzuje (dolní odhad)

Tímto dostanu horní a dolní odhad přenosu tepelné energie do papírové lepenky.

Hlavní hodnotou, kterou potřebuji spočítat je teplota papírové lepenky na výstupu z parní skříně, přičemž budu uvažovat, že je otevřen pouze první stupeň ventilu, tj. pára proudí jen na prvním stupni a druhý stupeň je zcela uzavřen. Toto je stav parní skříně, kdy je papírové lepence dodáváno nejméně tepelné energie a výsledná teplota je nejnižší, která může díky nastavení ventilů nastat.

Stav páry:

známé veličiny:

$$\dot{m} = 0,035 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$i = 2640 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Celková entalpie páry (viz.Obr.5.20):

$$H_p = H_{p1} - H_{p2}$$

$$H_{p1} = \dot{m} \cdot i$$



- za předpokladu, že všechna pára zkondenzuje a ochladí se na 70°C

$$H_{P2hor} = \dot{m} \cdot c_{H2O} \cdot 70$$

- za předpokladu, že všechna pára zkondenzuje

$$H_{P2dol} = \dot{m} \cdot c_{H2O} \cdot 100$$

- horní odhad celkové entalpie

$$H_P = H_{P1} - H_{P2hor}$$

- dolní odhad celkové entalpie

$$H_P = H_{P1} - H_{P2dol}$$

Stav papírové lepenky:

známé hodnoty:

$$l_L = l_N = 2,34 \text{ m}$$

$$h_L = 0,0005 \text{ m}$$

$$v_N = v_L = 1,5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\zeta_L = 1100 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\zeta_N = 800 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$C_{Plep} = 2800 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$C_{Pnos} = 1500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$t_{L1} = t_{N1} = 24^\circ\text{C}$$

hmotnost papírové lepenky:

- hustota papírové lepenky je uvedena za běžného tlaku, teploty 24°C a při poměru: 44% vody a 56% sušiny, což je stav, v kterém se nachází před vstupem do parní skříně.

-pro výpočet potřebuji hmotnost části papírové lepenky, kterou ohřívá proud páry z jednoho ventilu tzn. celkovou délku lepenkového pásu dělím počtem ventilů (10ks).

$$m_L = \frac{l_L}{10} \cdot \zeta_L \cdot h_L \cdot v_L$$

tepelná kapacita papírové lepenky:

- měrná tepelná kapacita je tepelná kapacita jednoho kilogramu látky. Tepelnou kapacitu tělesa o hmotnosti m lze tedy vyjádřit ve tvaru:

$$C = m \cdot c_p$$

-po dosazení:

$$C_L = m_L \cdot c_{plep}$$

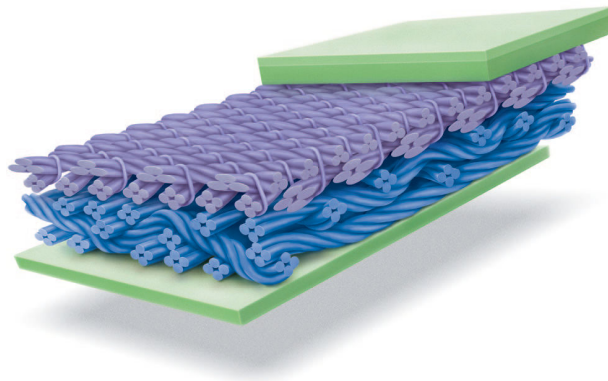
Entalpie papírové lepenky:

- entalpie vyjadřuje tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky

$$H_{L1} = m_L \cdot c_{plep} \cdot t_{L1}$$

Stav nosiče papírové lepenky:

- papírová lepenka před sušicí částí stroje obsahuje 44% vody a není tedy ještě dostatečně pevná. Proto je stále nesena na speciálním nosiči MATRIX Forte. Tento pás se speciální konstrukcí (Obr.5.19) je dodáván firmou Heimbach. Tloušťka tohoto nosiče je 3 mm, šířka 2,34 m a měrná tepelná kapacita je $1500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.



Obr.5.19.: struktura nosiče MATRIX Forte

známé hodnoty:

$$v_N = v_L = 1,5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\zeta_N = 800 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$C_{P_{nos}} = 1500 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$l_N = l_L = 2,34 \text{ m}$$

$$h_L = 0,003 \text{ m}$$

$$t_{N1} = t_{L1} = 24^\circ\text{C}$$

hmotnost nosiče papírové lepenky:

$$m_N = \frac{l_N}{10} \cdot \zeta_N \cdot h_N \cdot v_N$$

tepelná kapacita nosiče papírové lepenky:

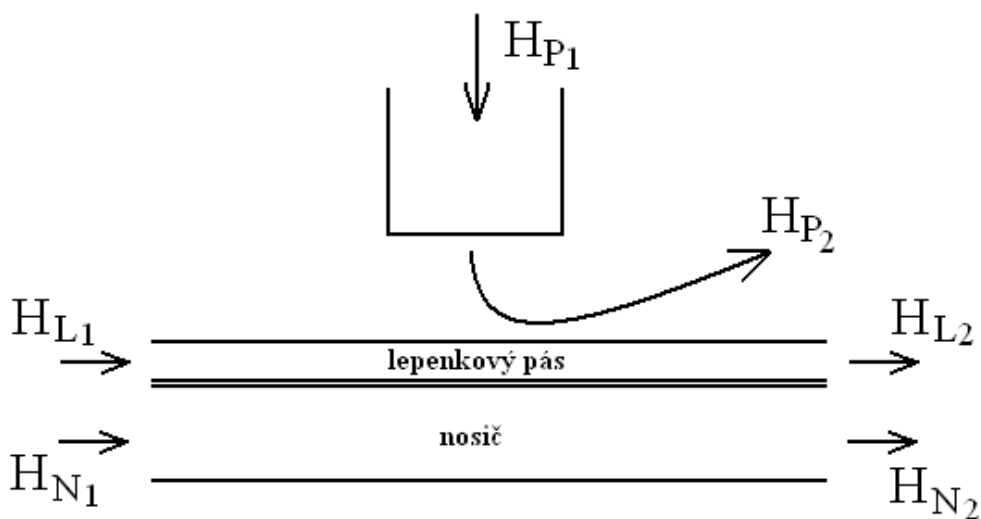
$$C_N = m_N \cdot c_{P_{nos}}$$

Entalpie nosiče papírové lepenky:

- entalpie vyjadřuje tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky

$$H_{N1} = m_N \cdot c_{P_{nos}} \cdot t_{N1}$$

Výpočet výstupní teploty lepenkového pásu:



Obr.5.20.: znázornění entalpií páry, lepenkového pásu a nosiče

- pro entalpie znázorněné na obrázku (Obr.5.20) platí tato rovnice:

$$(-H_{P2}+H_{P1}) = (H_{L2}+H_{N2}) - (H_{L1}+H_{N1})$$

- tuto rovnici lze upravit na:

$$(H_{L2}+H_{N2}) = (H_{P1}-H_{P2}) + (H_{L1}+H_{N1})$$

- a platí vztahy pro entalpii a tepelnou kapacitu:

$$H = m \cdot c_p \cdot t$$

$$\rightarrow H_{L2} = C_L \cdot t_{L2} \quad \text{a} \quad H_{N2} = C_N \cdot t_{N2}$$

$$C = m \cdot c_p$$

- tyto vztahy pro H_{L2} a H_{N2} dosadím do levé strany rovnice:

$$(C_L \cdot t_2 + C_N \cdot t_2) = (H_{P1} - H_{P2}) + (H_{L1} + H_{N1})$$

- rovnici lze upravit na:

$$t_2 \cdot (C_L + C_N) = (H_{P1} - H_{P2}) + (H_{L1} + H_{N1})$$

- vyjádřením t_2 z rovnice dostanu vztah pro výstupní teplotu lepenkového pásu t_2 :

$$t_2 = \frac{(H_{P1} - H_{P2}) + (H_{L1} + H_{N1})}{C_L + C_N}$$

kde je: \dot{m} hmotnostní průtok páry [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

i měrná entalpie páry [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

H_P celková entalpie páry [J]

c_{H_2O} měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$c_{P \text{ lep}}$ izobarická měrná tepelná kapacita papírové lepenky [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$c_{P \text{ nos}}$ izobarická měrná tepelná kapacita nosiče lepenkového pásu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

v_N rychlost nosiče lepenkového pásu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

v_L rychlost lepenkového pásu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

l_L celková šířka lepenkového pásu [m]

l_N celková šířka nosiče lepenkového pásu [m]

h_L tloušťka lepenkového pásu [m]

h_N tloušťka nosiče lepenkového pásu [m]

ρ_L hustota papírové lepenky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_N hustota nosiče lepenkového pásu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

m_L hmotnost papírové lepenky [kg]

t_{L1} teplota papírové lepenky před vstupem do parní skříně [$^{\circ}\text{C}$]

t_{N1} teplota nosiče papírové lepenky před vstupem do parní skříně [$^{\circ}\text{C}$]

C_L tepelná kapacita papírové lepenky [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$]

C_N tepelná kapacita nosiče papírové lepenky [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$]

H_L entalpie papírové lepenky [J] H_N entalpie nosiče papírové lepenky [J]Vypočtené hodnoty:

Tab.5.2. Tabulka vypočtených hodnot:

	H_{P1} [J]	H_{P2} [J]	$H_{P1}-H_{P2}$ [J]	C_L [J.K ⁻¹]	C_N [J.K ⁻¹]	H_{L1} [J]	H_{N1} [J]	t_2 [°C]
horní odhad	92400	10290	82110	577,5	1350	13860	32400	66,5992218
dolní odhad	92400	14700	77700					64,311284

Za předpokladu, že všechna pára skondenzuje na papírový pás a ochladí se na 70°C, je výstupní teplota papírové lepenky 66,6°C a za předpokladu, že všechna pára zkondenzuje (bez ochlazení) je výstupní teplota 64,3°C. Rozdíl teploty mezi horním a dolním odhadem je 2,3°C, tedy minimální.

Teplota papírové lepenky před parní skříní byla 24°C a nejmenší možná výstupní teplota lepenkového pásu, která může nastat je tedy 64,3°C.

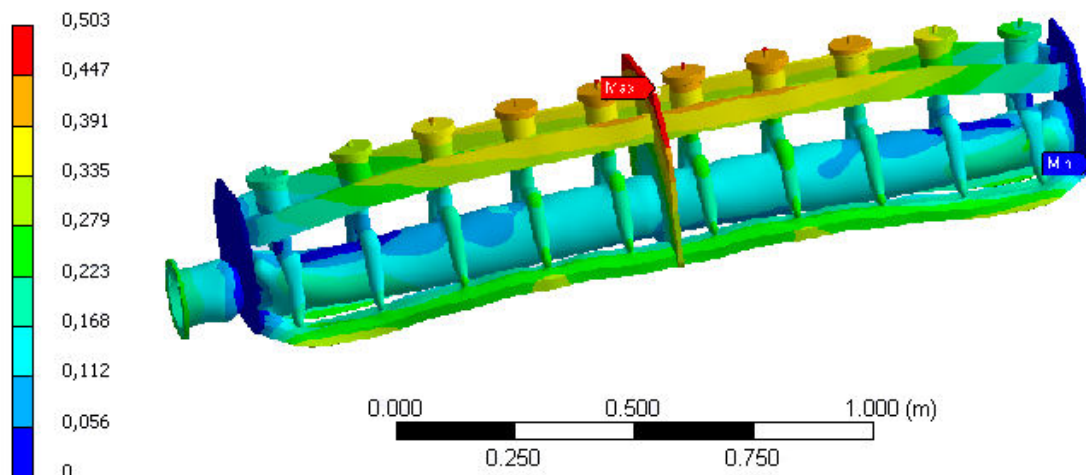
5.1.4 Výpočet namáhání

Návrh parní skříně jsem podpořil pevností kontrolou v programu Workbench.

Vstupní podmínky pro výpočet namáhání:

- pravý bok parní skříně je pevně uložen
- levý bok parní skříně má umožněno posunutí v podélném směru (osa „z“)
- veškeré parní potrubí je namáháno vnitřním tlakem 200000 Pa
- zatížení parní skříně gravitačním zrychlením $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
- veškeré parní potrubí je namáháno vnitřní teplotou 150 °C

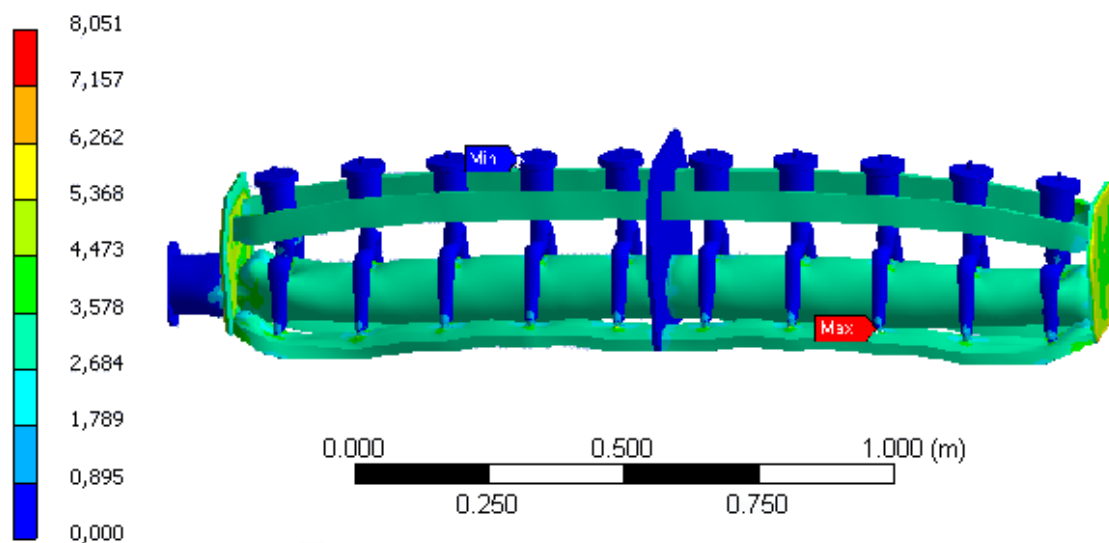
Total Deformation
 $\times 1e-3$ m
Max: 5,029e-004
Min: 0,000e+000
2008/5/9 12:47



Obr.5.21.: analýza deformace parní skříně

Po provedení pevnostní kontroly a vyhodnocení výsledků je patrné, že dochází k prostorové deformaci způsobené teplotním zatěžováním přívodního potrubí parní skříně.

Equivalent (von-Mises) Stress
 $\times 1e8$ Pa
Max: 8,051e+008
Min: 6,177e+003
2008/5/12 10:36



Obr.5.22.: analýza ekvivalentního napětí parní skříně

Výsledné hodnoty:

Celková deformace parní skříně:

Max: $5.029 \cdot 10^{-4}$ m

Min: 0 m

Napětí parní skříně:

Max: $8.051 \cdot 10^8$ Pa

Min: $6.177 \cdot 10^3$ Pa

Na obrázcích je patrný směr deformace parní skříně vlivem teploty potrubí převážně v podélním směru. Nejvíce namáhanými částmi parní skříně jsou tedy spoje potrubí, které bude nutné pravidelně kontrolovat.

Z pevnostní kontroly vyplývá, že parní skříň splňuje kritéria pro použití v technologickém zařízení na výrobu papírové lepenky.

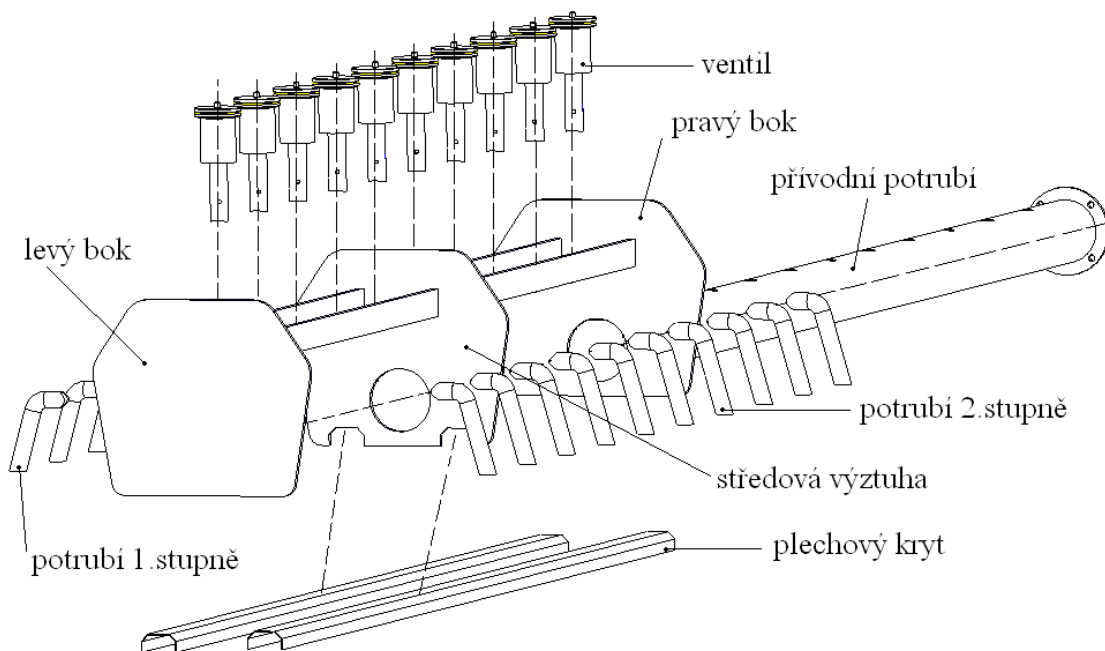
5.1.5 Popis inovačního řešení z hlediska DFX

Inovační proces zahrnuje také metody pro detailní konstruování, jejichž rozhodující část tvoří metody „Design for X“ (DFX). Cílem DFX metod je vytvoření co možná nejefektivnějšího modelu popisujícího reálný produkční proces. Metody DFX využívají především lidé z oblasti návrhu výrobku a jeho výroby. Metody DFX řeší vztah navrhovaných strojních celků s ohledem na jednoduchost, snadnost a rychlost výroby, montáže, demontáže, udržitelnosti apod. Konstrukční práce, stejně jako práce spojené s přípravou výroby a technologií, ve velké míře determinují, jak je produkt vyráběn a co bude stát jeho výroba [6]. Konstrukce výrobku a jednotlivé díly by měly splňovat požadavky typu:

- díly musí být snadno vyrobitelné
- díly lze levně nakoupit
- co nejvíce dílů by mělo být standardizovaných
- díly by měly být bez náročně vyrobitelných tolerancí
- konstrukce musí mít minimum spojů
- díly by měly být snadno demontovatelné
- díly by měly být snadno a ekologicky recyklovatelné

Design for Assembly (DFA)

Jelikož se u parní skříně nejedná o sériovou výrobu, nýbrž bude případně vyroben pouze jeden kus na zakázku, není z hlediska montáže a sestavení parní skříně nutné klást příliš velký důraz na rychlost a jednoduchost montáže. I přesto jsem se však, pokud to nebylo na úkor kvality řešení, snažil navrhnout parní skříň z hlediska DFA co nejlépe.



Obr.5.23.: složení parní skříně

Stručný popis montáže:

- 1) Nosný rám parní skříně je svařen z 2.ks nosníků, levého boku, pravého boku a středové výztuhy.
- 2) Do kruhových otvorů v pravém boku a středové výztuze je ukístěno přívodní potrubí a přivařeno k rámu.
- 3) Ventil s nátrubkem je umístěn do kruhových otvorů v nosnících a je k němu přivařeno potrubí prvního a druhého stupně. Dále se nátrubek přivaří k přívodnímu parnímu potrubí.
- 4) Plechový kryt je umístěn do výřezu ve středové výstuze a je přivařen k rámu a potrubí.
- 5) Přišroubování krytů ze všech stran k rámu (kryty nejsou na obrázku).

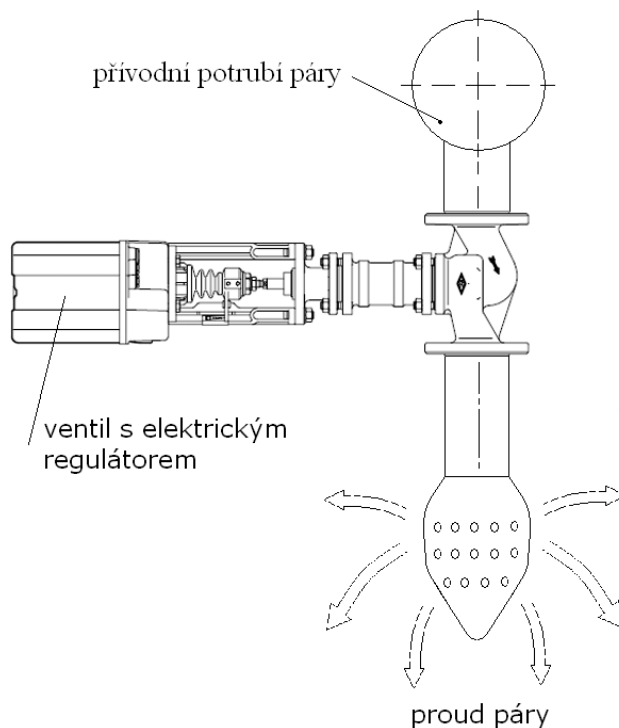
Design for Manufacturing (DFM)

Metoda pro detailní konstruování DFM bylo splněno několik základních a velice důležitých kritérií. Inovovaný výrobek je co nejjednodušší, je vyroben ze standardních materiálů a má volné tolerování [6]. Všechny polotovary potřebné k výrobě parní skříně jsou běžně dostupné.

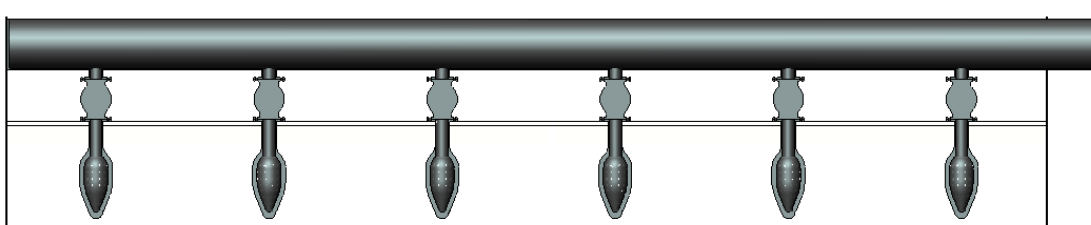
5.2 Návrh parní skříně č.2

Tento návrh parní skříně pracuje na stejném principu jako varianta č.1, tedy také je rozdělena do více zón (Obr.5.25.) rovnoměrně rozmístěných podél lepenkového pásu (max.2300 mm). Způsob distribuce páry je však odlišný, probíhá pomocí dvojcestných ventilů, které pouštějí páru do speciálních stříček. Tyto stříčky rovnoměrně vyplňují komoru parní skříně a dále pára proudí skrze děrované dno parní skříně na papírový pás. Na níže uvedeném obrázku je patrný princip této varianty (Obr. 5.24.).

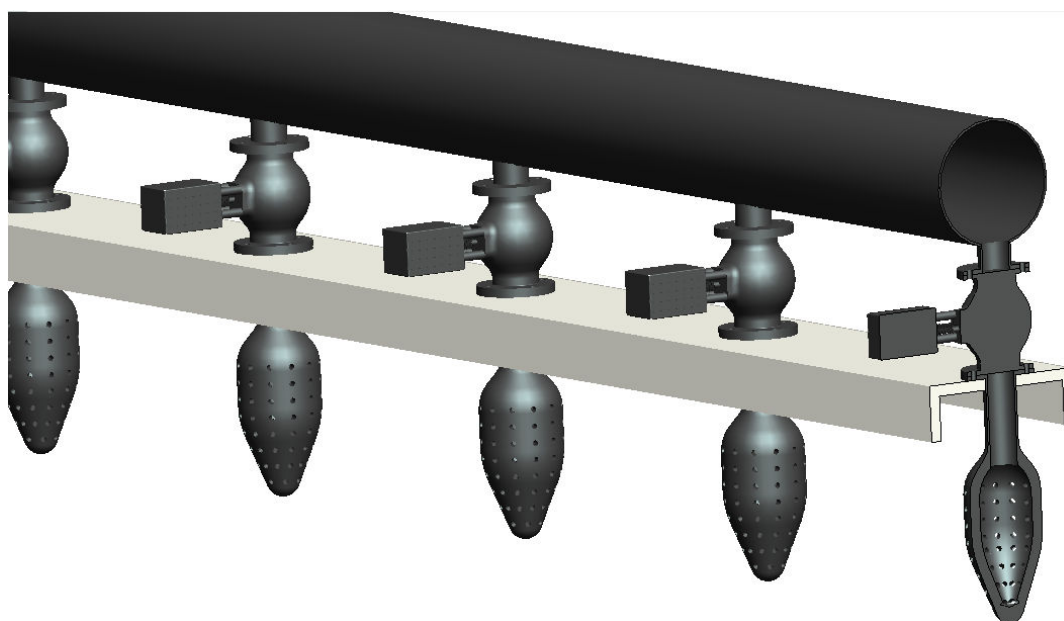
Použitý ventil od firmy LDM může být poháněn různými typy pohonů, přičemž každý z nich má své výhody a nevýhody.



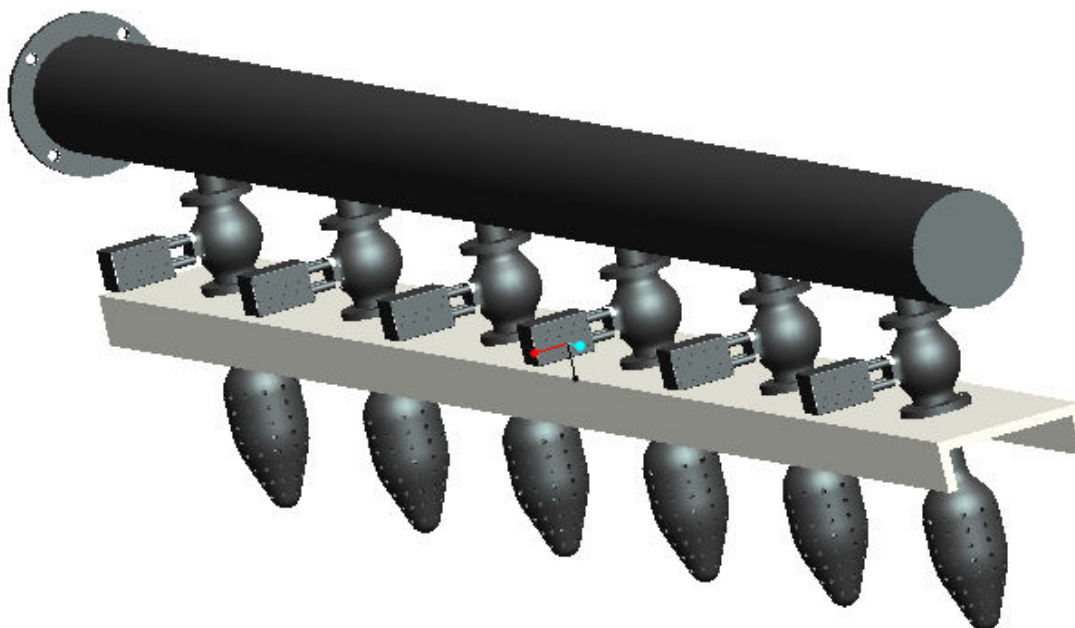
Obr. 5.24.: koncept parní skříně se speciální stříčkou



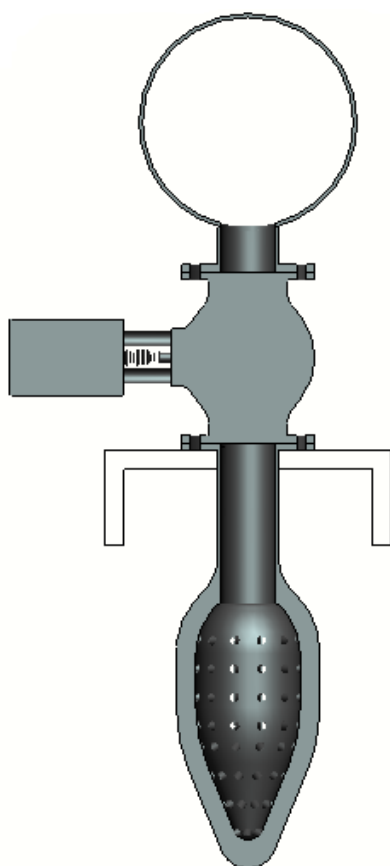
Obr. 5.25.: podélný řez parní skříní



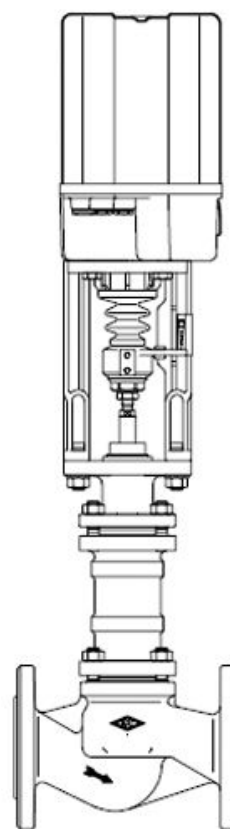
Obr. 5.26.: 3D pohled parní skříně s příčným řezem v místě stříčky



Obr. 5.26.: celkové uspořádání parní skříně (3D)



Obr. 5.27.: příčný řez parní skříní

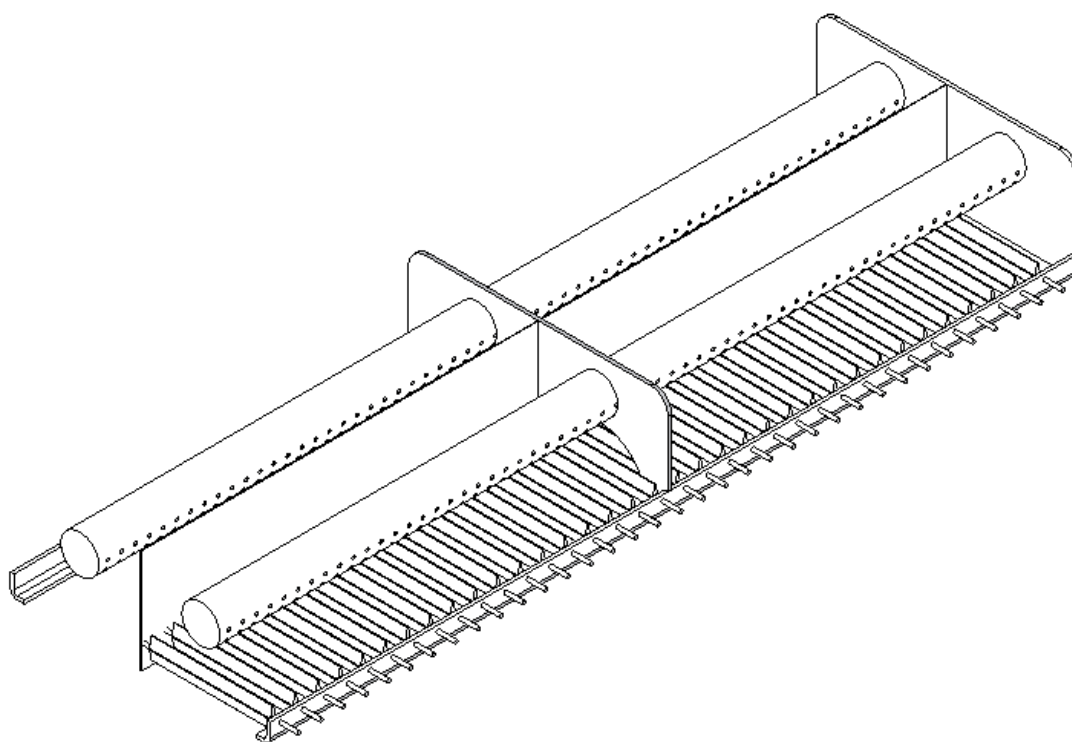


Obr. 5.28.: ventil LDM

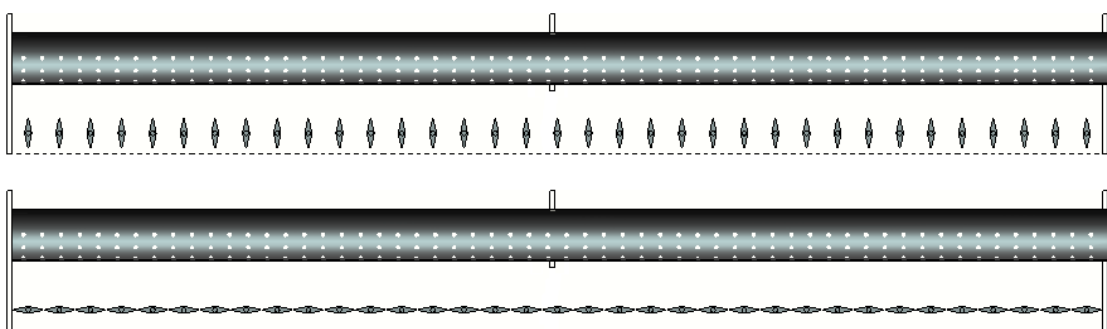
5.3 Návrh parní skříně č. 3

Koncept tohoto řešení parní skříně je založen na dvou stupních distribuce páry (jako u varianty č. 1), z čehož první stupeň je stále otevřený a zajišťuje ohřev papírové lepenky v celé její šíři. V druhém stupni lze proudění páry na lepenkový pás příčně regulovat pomocí speciálních klapek. Každá z klapek má svůj servo motor, který s ní může otáčet a tím průchod páry přivírá nebo otevírá.

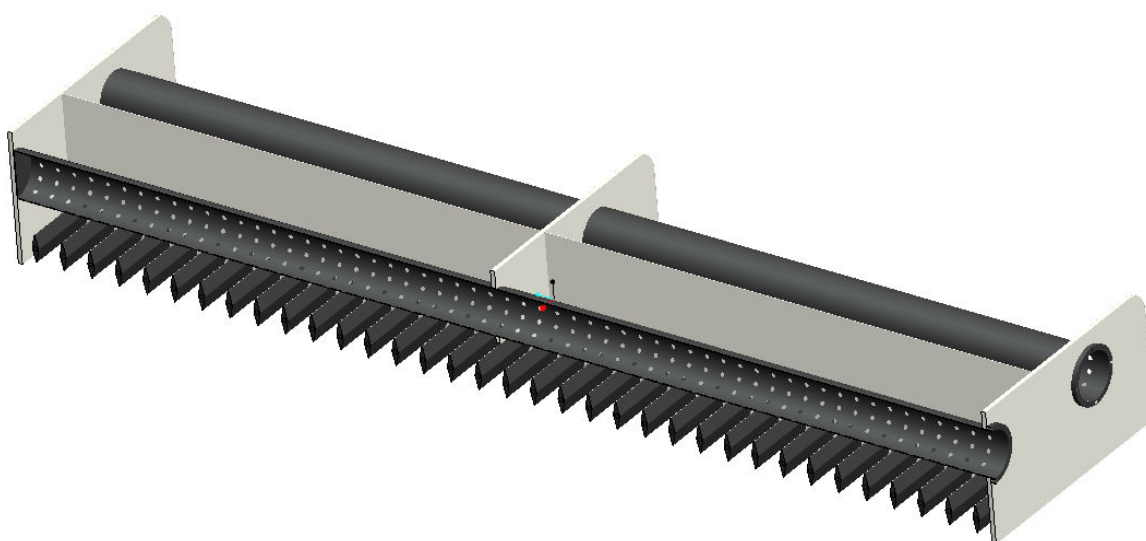
Samotné proudění páry je tu zajištěno jednoduchým způsobem a to tak, že v přívodním potrubí parní skříně jsou v celé spodní polovině vyvrtány otvory o průměru 10 mm, kterými proudí pára do prostoru komory parní skříně, rovnoměrně ji vyplňuje a proudí dále na lepenkový pás.



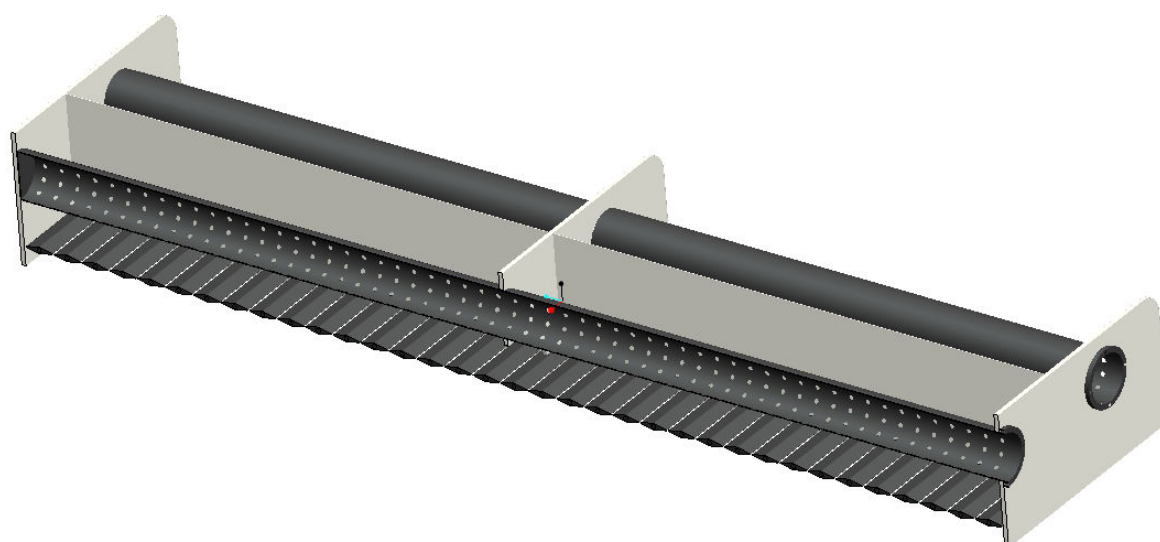
Obr. 5.29.: drátěný model parní skříně



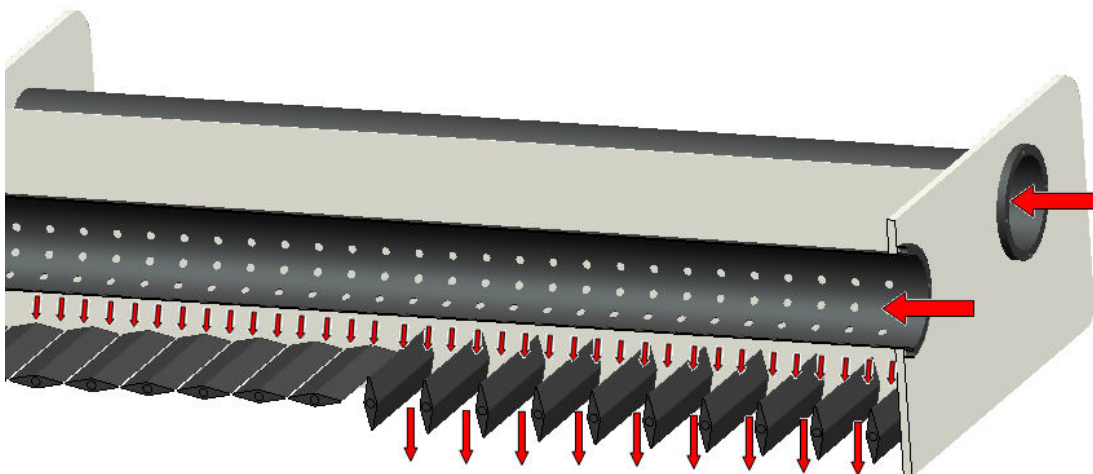
Obr. 5.30.: na horním obrázku jsou klapky otevřeny, na dolním uzavřeny



Obr. 5.31.: řez parní skříní při otevřených klapkách



Obr. 5.32.: řez parní skříní při uzavřených klapkách



Obr. 5.33.: tok páry

6 Zhodnocení konstrukčních řešení

Při výběru konečného konceptu parní skříně je nutné zabývat se zhodnocením navržených dílčích konstrukčních řešení a stanovením nejvhodnější varianty [6].

K tomuto účelu se využívá celá řada metod:

- intuitivní výběr
- externí posouzení
- výběr osobní preferencí
- volba nejvyšším počtem hlasů
- analýza silných a slabých stránek
- testování prototypů
- rozhodovací matice

V této práci se při výběru nejvhodnější varianty parní skříně použila metoda rozhodovací matice. Byla vytvořena rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů (přiložena v příloze).

Výsledné pořadí z rozhodovací matice:

1. místo: návrh parní skříně č. 1
2. místo: návrh parní skříně č. 2
3. místo: návrh parní skříně č. 3
4. místo: parní skříň firmy Metso
5. místo: parní skříň firmy Hans U. Jakob
6. místo: parní skříň firmy Weyerhaeuser

Dále po externím posouzení zákazníkem (Papírny Bělá a.s.) a po intuitivním výběru byla jako vítězná varianta zvolena parní skříň č. 1. díky dobré schopnosti regulovat tok páry ve dvou stupních a schopnosti ohřívat lepenku v celé její šíři. Zároveň dokáže i zrovnoměřovat příčný vlhkostní profil lepenky. Je vhodná k umístění kdekoli v papírenském stroji a nenáročná na údržbu.

Závěr

Tato práce obsahuje průzkum již existujících řešení parních skříní na trhu, porovnává je s novými navrženými konstrukčními řešeními a doporučuje vhodnou variantu odpovídající všem kritériím požadovaných zákazníkem (Papírny Bělá a.s.).

Byla navržena inovace technologického zařízení na výrobu papírové lepenky, která přispívá ke zvýšení produkce, úspor energie a kvality výroby tohoto zařízení.

Z uvedených návrhů se jako nejvhodnější ukázala varianta parní skříně č. 1, která má dva stupně proudění páry na papírový arch, přičemž lze průchod páry regulovat pomocí speciálních pneumatických ventilů. Podélně je parní skříň rozdělena do deseti samostatných zón, a proto s ní lze kladně ovlivňovat vlastnosti papírové lepenky v celé její šíři.

Vítězný návrh byl podpořen výpočty proudění, přestupu tepla a namáhání.

Výsledné hodnoty jsou tyto:

- rychlost proudění páry na výstupu z prvního stupně ventilu je 16 m/s
- hmotnostní tok páry na výstupu z prvního stupně ventilu je 45 g/s

- rychlost proudění páry na výstupu z druhého stupně ventilu je v závislosti na regulaci průtoku (0 do 100%) od 0 do 36 m/s
- hmotnostní tok páry na výstupu z druhého stupně ventilu je v závislosti na regulaci průtoku (0 do 100%) od 0 do 1000 g/s
- minimální možná teplota papírového listu na výstupu z parní skříně je 64,3°

Vstupní teplota papírové lepenky před parní skříní je 24°C a parní skříň tedy zvýší teplotu papírového pásu o 40 °C, což přinese výrazné snížení viskozity vody v něm obsažené a s tím spojené zrychlení sušení lepenky v následující, sušící části stroje. Toto umožní zrychlení celého technologického zařízení, což přinese výrazné navýšení produkce papírové lepenky a s tím spojené ekonomické přínosy.

Dále pomocí parní skříně lze kladně ovlivňovat příčný vlhkostní profil papírové lepenky a tím se výrazně zabráni vlnění lepenky vlivem nerovnoměrného vlhkostního profilu. Zvýšení kvality lepenky je jeden z hlavních důvodů pořízení této parní skříně.

Inovované zařízení splňuje všechny podmínky bezpečnosti práce a při správném zacházení nemůže dojít k pracovnímu úrazu.

Do odevzdání této diplomové práce nebylo rozhodnuto o realizaci této parní skříně, a proto bohužel nemohlo být provedeno měření hlučnosti a přesný výpočet ekonomickým přínosů.

Při svých návrzích konceptů jsem vycházel z filozofie inovačního inženýrství s využitím moderních metod pro plánování inovace, tvorbu konceptů a softwarové podpory konstruování.



Použitá literatura

- [1] Dokumentace firmy Papírny Bělá a.s.
- [2] Technologický reglement stroje na výrobu papírové lepenky
- [3] Papír a celulóza: odborný časopis
- [4] Papírenská příručka - Hnětkovský a kol.
- [5] Fialová M., Šafařík P.: Základy termodynamiky přehřáté a syté páry, tabulky
- [6] I. Mašín, L. Ševčík: Metody inovačního inženýrství, 2006
- [7] webová stránka: <http://www.hujakob.ch>
- [8] webová stránka: <http://www.metsopaper.com>
- [9] webová stránka: <http://www.heimbach-group.com>
- [10] webová stránka: <http://www.ldm.cz>
- [11] webová stránka: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/Termomechanika/Is.gif>
- [12] webová stránka: <http://www.ferona.cz>
- [13] webová stránka <http://www.atomsteel.cz>
- [14] J. Adamec, M. Lísal, B. Váradiová: Mechanika tekutin, ČVUT

Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů

Kritérium	váha	Koncepty											
		Hans U. Jakob		Weyerhaeuser		Metso		Vlastní návrh č. 1		Vlastní návrh č. 2		Vlastní návrh č. 3	
		hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota
umístění ve stroji	50 %	2	1	4	2	1	0,5	4	2	4	2	3	1,5
schopnost zrovnoměrnit vlhkostní příčný profil	90 %	3	2,7	1	0,9	3	2,7	3	2,7	3	2,7	3	2,7
schopnost přenést teplo na lepenkový pás	90 %	2	1,8	2	1,8	2	1,8	3	2,7	2	1,8	3	2,7
schopnost snížit viskozitu v vody v papírové lepence	90 %	2	1,8	2	1,8	2	1,8	4	3,6	2	1,8	3	2,7
schopnost zabránit vlnění papírové lepenky	80 %	2	1,6	1	0,8	3	2,4	3	2,4	2	1,6	2	1,6
má co nejmenší spotřebu páry	30 %	2	0,6	2	0,6	2	0,6	3	0,9	3	0,9	1	0,3
regulace průtoku páry na lepenkový pás	40 %	3	1,2	1	0,4	3	1,2	4	1,6	2	0,8	2	0,8
rychlost proudící páry na lepenkový pás	20 %	2	0,4	2	0,4	2	0,4	3	0,6	2	0,4	2	0,4
složitost zařízení (počet dílů)	10 %	3	0,3	4	0,4	2	0,2	2	0,2	3	0,3	1	0,1
pravděpodobnost poruchy	80 %	3	2,4	4	3,2	3	2,4	2	1,6	3	2,4	2	1,6
design	10 %	4	0,4	2	0,2	3	0,3	2	0,2	2	0,2	2	0,2
Součet		14,2		12,5		14,3		18,5		14,9		14,6	
Pořadí		5.		6.		4.		1.		2.		3.	
Další postup		ne		ne		ne		externí posouzení zákazníkem + intuitivní výběr					

Příloha č. 3